国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

齿 轮

Gear

郑州机械研究所
中国机械通用零部件工业协会齿轮分会 组编
刘忠明 主编

机械工业出版社
China Machine Press

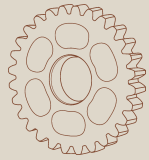
刘忠明，1964年1月出生，河南浚县人，工学博士，研究员，博士生导师。主要从事齿轮传动理论研究及产品研发工作，现任郑州机械研究所副总工程师、研发中心主任。兼任河南省制造业信息化专家组成员，中国机械工程学会机械传动分会委员、齿轮专业委员会委员，《机械传动》杂志编委，中国民主建国会郑州市副主任委员，郑州市第十二届政协委员等职。近年来，先后获得河南省科技创新先进个人、河南省科技创新团队带头人、郑州市科技标兵、郑州市科技创新团队带头人、郑州市专业技术拔尖人才等称号。

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

齿　轮

Gear



郑州机械研究所
中国机械通用零部件工业协会齿轮分会　组编
刘忠明　主编

机械工业出版社
China Machine Press

本书分 11 章，对齿轮行业的发展思路、发展目标、发展战略、政策进行了全面、系统的分析研究，对产业发展和目前的瓶颈问题，提出了具有指导意义的建议。第 1 ～ 4 章主要对齿轮行业的战略地位、现状、发展环境及国外发展情况进行深入分析，并对国内外齿轮产业进行了全面对比；第 5 章介绍了我国齿轮行业的标准化现状及展望；第 6 章研究分析了我国齿轮行业为战略性新兴产业配套的市场环境，对未来齿轮的市场需求情况进行了预测；第 7 章提出了我国齿轮产业的发展战略和发展目标；第 8 章介绍了我国齿轮产业的重点发展领域；第 9 章指出了提高齿轮产业为战略性新兴产业配套服务能力需解决的关键问题；第 10、11 章指出我国齿轮产业发展应采取的措施，并对发展风险进行了简单分析，提出了政策建议。

本书将普及性、科学性有机地统一起来，既具有一定的思想、理论深度，又具有浅显易懂、实用的特点，既适合各级政府和行业决策机构制定政策法规、学术研究机构规划研究方向参考，也适合企业决策者，技术、管理及市场人员，以及投资、证券行业及咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目（CIP）**数据**

中国战略性新兴产业研究与发展．齿轮 / 刘忠明主编．－北京：机械工业出版社，2013.2
ISBN 978-7-111-41497-1

Ⅰ. ①中… Ⅱ. ①刘… Ⅲ. ①新兴产业－产业发展－研究－中国②齿轮－机械工业－产业发展－研究－中国
Ⅳ. ①F121.3 ②F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 030056 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
责任编辑：任智惠　　编辑：韩　冰　　章承林
责任校对：贾立萍　　陈延翔
北京宝昌彩色印刷有限公司印制
2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
170mm×242mm • 24.75 印张 • 445 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-41497-1
定价：158.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	易览网：http://www.mepfair.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)68326643	**封面无防伪标均为盗版**

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编 委 会

主　任　路甬祥　全国人大常委会副委员长、中国科学院院士

副主任　苏　波　工业和信息化部副部长

王文斌　中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委　员　（按姓氏笔画排序）

王仲颖　国家发展和改革委员会能源研究所副所长

石　勇　机械工业信息研究院战略与规划研究所所长

付于武　中国汽车工程学会理事长

刘忠明　郑州机械研究所副总工程师兼研发中心主任

祁　俊　中国工程机械工业协会会长

李树君　中国农业机械化科学研究院院长

李俊峰　国家应对气候变化战略研究和国际合作中心主任

肖立业　中国科学院电工研究所所长

吴　筠　中国机械通用零部件工业协会原理事长

何加群　中国轴承工业协会专务委员

汪　鸣　国家发展和改革委员会综合运输研究所副所长

宋天虎　中国机械工程学会常务副理事长

张进华　中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长

张志英　中国液压气动密封件工业协会原理事长

陆　力　中国水利水电科学研究院水力机电研究所所长

茅仲文　中国工程机械工业协会副秘书长

徐和谊　北京汽车集团有限公司董事长

徐洪泉　中国水利水电科学研究院水力机电研究所总工程师

郭　锐　机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社副社长

盛伯浩　北京机床研究所副总工程师

韩文科　国家发展和改革委员会能源研究所所长

景晓波　工业和信息化部运行监测协调局副巡视员

谢三明　工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

《中国战略性新兴产业研究与发展·齿轮》

执行编委会

主　　编　刘忠明

撰稿人　张元国　明翠新　刘世涛　李纪强
李权才　李海斌　王征兵　孟令先
王　振　张志宏　张立勇　张和平
管洪杰　陆　军　吕泮功　禹英杰
乔雪涛　董进朝　裴　帮　王越仟

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主　　任　郭　锐（兼）

副主任　李卫玲

成　　员　赵　敏　张珂玲　李　晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来 5 ～ 10 年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性

新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业的结构调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书一期包括 12 个分册，对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是绿色。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是智能。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是全球制造。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必

然是全球化制造、网络化制造。

四是满足个性化需求与为更多人分享相结合。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是可持续。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是增值服务。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现出“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现科学性。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分

册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现前瞻性。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现指导性。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现基础性。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有60年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！

是为序。

2012年2月6日于北京

前言

齿轮是现代机械装备中应用领域最广、使用量最大的机械传动件，是机械产品的重要基础零部件，齿轮及齿轮传动装置的设计制造水平将直接影响机械产品的性能和质量。由于在工业发展中的突出作用，齿轮被认为是工业化的象征，也是衡量一个国家基础工业发展水平的重要方面。

尽管我国古代指南车上就有了齿轮机构的雏形，但直到新中国成立初期，我国的齿轮工业还几乎空白。经过第一和第二个五年计划的建设，我国的齿轮工业才有所发展，到 20 世纪 60 年代初具规模，20 世纪 80 年代初硬齿面齿轮制造技术的广泛应用和快速发展，标志着我国齿轮制造业完整体系的基本形成。“十一五”期间，我国齿轮工业在汽车、风电、高铁、工程机械等产业快速发展的拉动下得到了迅速发展，已成为中国机械基础件中规模最大的行业，市场规模位于世界第三位。目前，我国齿轮产品正经历从中低端向高端的转变，少数高端产品已达到国际先进水平，但总体而言，我国齿轮产品还难以满足重点工程装备的配套要求，高端产品仍大量依赖进口，进、出口逆差在逐年加大。

当前，影响世界经济复苏的因素仍十分复杂，我国经济下行压力加大，产业发展重心向战略性新兴产业转移和科技创新的紧迫性与日俱增，发展战略性新兴产业已成为世界主要国家抢占新一轮经济和科技发展制高点的重大战略。本书包括 11 章和 8 个附录，概括论述了我国齿轮产业的战略地位、发展现状、与国外先进国家的比较、标准化现状及展望、发展环境分析、发展战略和发展目标、重点发展领域、发展措施、发展风险分析等内容；讨论了提高我国齿轮产业为战略性新兴产业配套服务能力需解决的关键问题等。为便于读者使用，书后还以附录形式给出了全国齿轮产业主要经济指标统计、“十一五”期

间我国齿轮产品进出口情况、国外主要工业国家齿轮标准目录、齿轮行业近年来的部分获奖项目、部分科研项目、部分行业组织及创新平台等；为便于与国外先进国家的发展目标进行对比，还介绍了2030年我国齿轮技术路线图和2025年美国齿轮工业愿景。期望广大读者能够通过本书进一步了解我国齿轮工业与战略性新兴产业的关系，充分认识发展战略性新兴产业的重要性，有利于找准齿轮行业的发展方向和目标，有利于政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关行业政策和法规，有利于企业向战略性新兴产业投资；同时，希望本书能为齿轮相关企业制定发展战略提供参考，为行业技术人员确定研究方向提供帮助。

本书在编写过程中得到了中国通用零部件工业协会及其齿轮分会的大力帮助，得到了郑州机械研究所有关领导的大力支持以及研发中心、行业中心同仁的通力合作，书中引用了相关行业机构和专家的部分数据和资料，在此表示衷心的感谢！

本书涉及知识面较广，数据较多，编写难度较大，由于编者水平有限，书中难免出现错误及疏漏，热忱希望读者批评指正。

2012年3月6日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来 5 ～ 10 年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期出版的分册包括太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会路甬祥副委员长担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出

了“六个特点”和“四性”的具体要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2012 年 6 月

目录 CONTENTS

序言
前言
编写说明

第 1 章　我国齿轮产业的战略地位 1
1.1　齿轮是机械装备的关键基础件 2
1.2　我国齿轮工业为国家重大装备和重点工程发挥了重要的支撑作用 14
1.3　齿轮已成为我国机械基础件中规模最大的产业 21
1.4　齿轮是七大战略性新兴产业中的核心零部件 24
1.5　高端齿轮产品长期依赖进口制约了我国战略性新兴产业的快速发展 27

第 2 章　我国齿轮产业的发展现状 29
2.1　我国齿轮产业与战略性新兴产业的关系 30
2.2　我国齿轮产业的发展概况 35
2.3　我国齿轮行业存在的主要问题 44

第 3 章　世界齿轮产业的发展情况 51
3.1　主要先进国家齿轮产业的发展历程和特点 52
3.2　主要先进国家齿轮产业的技术水平和规模 55
3.3　世界齿轮产业技术和产品发展趋势 58
3.4　跨国齿轮集团公司在我国投资发展概况 61

第 4 章　我国齿轮产业与国外先进国家的比较 67
4.1　产业发展阶段和技术水平的比较 68
4.2　发展规模的比较 75
4.3　管理方式和采取措施的比较 85
4.4　政府与民间对齿轮产业发挥作用的比较 87

第 5 章　我国齿轮行业标准化现状及展望 93
5.1　齿轮标准化工作基本情况 94
5.2　齿轮标准化工作面临的形势和标准化需求分析 109
5.3　“十二五”期间齿轮标准化工作的发展思路和工作目标 .. 110
5.4　“十二五”期间齿轮标准化主要工作和重点领域 112
5.5　“十二五”期间齿轮标准化技术机构建设 113

第 6 章　我国齿轮产业发展的环境分析 115
6.1　多元并存、共同发展的行业格局已基本形成 116
6.2　我国齿轮行业发展面临前所未有的大好机遇 127
6.3　我国齿轮行业发展面临的严峻挑战 133
6.4　国际合作与竞争 136
6.5　“十二五”期间市场需求预测 137
6.6　政策与建议 139

第 7 章　我国齿轮产业的发展战略和发展目标 141
7.1　我国齿轮产业的发展现状与面临的形势 142
7.2　我国齿轮产业发展的指导思想 147
7.3　我国齿轮产业发展的基本原则 147
7.4　我国齿轮产业的发展目标 148
7.5　我国齿轮产业的重点发展方向 151
7.6　我国齿轮产业的主要任务 156

第 8 章　我国齿轮产业的重点发展领域 163
8.1　齿轮产品的应用领域 164
8.2　车辆与工程机械 164
8.3　能源装备 167
8.4　船舶及海洋工程装备 171
8.5　轨道交通装备 174
8.6　冶金、矿山及建材设备 175
8.7　航空航天及武器装备 176
8.8　仪器仪表及机器人 177

第 9 章　提高我国齿轮产业为战略性新兴产业 配套服务能力需解决的关键问题 179
9.1　我国齿轮产业现状分析 180
9.2　我国齿轮产业的发展目标及措施 182
9.3　我国齿轮技术体系的完善 184
9.4　我国齿轮产品体系的构建 192
9.5　我国齿轮行业创新平台建设 221

第 10 章　我国齿轮产业的发展措施 225
10.1　提高创新能力 226
10.2　加快结构调整 229
10.3　推动产业升级 231
10.4　强化品牌建设 233
10.5　完善标准体系 236
10.6　优化企业管理 236
10.7　实施人才战略 237

第 11 章　我国齿轮产业发展风险分析 239
11.1　技术风险 240
11.2　人才风险 244
11.3　市场风险 246
11.4　资金风险 247

附录 251
附录 A　全国齿轮行业主要经济指标统计 252
附录 B　“十一五”期间我国齿轮产品进出口情况及分析 269
附录 C　2030 年我国齿轮技术路线图 277
附录 D　2025 年美国齿轮工业愿景 289
附录 E　国外主要工业国家齿轮标准目录 299
附录 F　齿轮行业部分中国机械工业科学技术奖 312
附录 G　齿轮行业近期部分科研项目介绍 322
附录 H　齿轮行业部分行业组织及创新平台简介 350

参考文献 370

表目录

表 1-1　齿轮轮齿磨损和损伤的基本形式 4
表 1-2　最小安全系数参考值（摘自 GB/T 3480—1997 附录 A） 6
表 1-3　可靠度系数 K_R （摘自 AGMA 2001-D04） 6
表 1-4　部分风电增速箱制造商及产品规格 10
表 1-5　国内外谐波减速器主要参数对比（速比为 100） 13
表 1-6　常用齿轮传动方式 14
表 1-7　常见齿轮产品的主要特点及其适用领域 14
表 1-8　2010 年我国机械通用零部件行业状况 21
表 1-9　2004 — 2010 年我国齿轮产品进出口额统计 22
表 1-10 2010 年部分机械基础件产品的世界排名 22
表 4-1　齿轮产品分类 70
表 4-2　车辆齿轮产品类型 71
表 4-3　工业齿轮的主要产品类型 73
表 4-4　部分国际知名齿轮公司的市场份额 75
表 4-5　2009 年我国齿轮行业工业总产值前十位企业排名 77
表 4-6　2009 年我国齿轮行业综合指标前十位企业排名 77
表 4-7　杭州前进齿轮箱集团股份有限公司拟扩张产能 80
表 4-8　2011 年机械通用零部件行业进出口情况 82
表 5-1　我国现行齿轮标准 94
表 5-2　归口管理属于机械工业领域的齿轮国际标准情况
（截至 2010 年底） 103
表 5-3　“十二五”期间全国标准化技术委员会主要采用转化的国际标准 .. 110
表 5-4　全国齿轮标准化技术委员会拟设分技术委员会和工作组 113
表 6-1　2007 — 2011 年齿轮、传动和驱动部件制造业销售收入 117
表 6-2　2010 年我国机械基础件和典型基础制造工艺的生产规模
及世界排名 120
表 6-3　2011 年我国部分省市齿轮产量 120
表 7-1　“十二五”期间齿轮行业重点发展产品 151

表 9-1　软、硬齿面齿轮性能参数及成本的对比情况 193
表 9-2　齿轮钢材质量对齿轮强度性能和工艺性能的影响 194
表 9-3　国外火电机组蒸汽参数发展过程 203
表 9-4　国内部分引进机组调速传动装置的主要参数 204
表 9-5　驱动桥和手动变速器齿轮润滑油黏度分类（GB/T 7631.7—1995） ... 211
表 9-6　API 汽车变速器和驱动桥润滑剂使用分类 212
表 9-7　我国车辆齿轮油分类（GB/T 7631.7—1995） 213
表 9-8　我国车辆齿轮油分类与 API 使用分类的对应关系 213
表 9-9　工业齿轮油的黏度等级 214
表 9-10　美国齿轮制造业协会（AGMA）的工业齿轮油分类与我国工业齿轮油的对照 214
表 9-11　“十二五”期间齿轮行业重点发展的重大工程、重大装备所需零部件产品 216
表 9-12　齿轮行业部分行业组织、机构及创新平台 221
表 11-1　内齿圈几种热处理方式对比 249
表 A-1　2006 — 2011 年齿轮行业销售额 252
表 A-2　2006 — 2011 年齿轮行业进出口额 253
表 A-3　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同规模企业的销售额... 254
表 A-4　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同规模企业的销售额 255
表 A-5　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同所有制企业销售额... 256
表 A-6　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同所有制企业销售额 257
表 A-7　2007 — 2011 年齿轮制造业利润总额 257
表 A-8　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同规模企业利润总额... 258
表 A-9　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同规模企业利润总额 259
表 A-10　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额... 260
表 A-11　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额 260
表 A-12　2007 — 2011 年齿轮制造业资产总额 261
表 A-13　截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同规模企业总资产..... 262
表 A-14　截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同所有制企业总资产..... 263
表 A-15　2007 — 2011 年齿轮制造业亏损面 264

表 A-16　2007 — 2011 年齿轮制造业亏损企业亏损总额 264
表 A-17　2007 — 2011 年齿轮制造业成本费用率 265
表 B-1　2006—2010 年我国机械通用零部件行业进出口比较 270
表 B-2　“十一五”期间我国齿轮产品进出口一览表..... 270
表 B-3　2008 年我国齿轮产品进口主要国家和地区 271
表 B-4　“十一五”期间齿轮生产企业销售及进出口情况..... 272
表 B-5　2008 年齿轮进出口细目表 272
表 B-6　2009 年齿轮进出口细目表 273
表 B-7　2010 年齿轮进出口细目表 275
表 C-1　齿轮产业未来市场需求及产品..... 278
表 D-1　2004 年全球齿轮市场 291
表 F-1　2007—2011 年齿轮行业获机械工业科学技术奖情况 312
表 F-2　齿轮行业部分中国机械工业科学技术奖二等奖及以上成果情况... 313
表 G-1　专利情况..... 329
表 G-2　制订及修订标准..... 330
表 G-3　GWC70.85 大功率船用齿轮箱主要技术参数 330
表 G-4　HCA300 型船用齿轮箱主要技术参数 331
表 G-5　TP55 燃机负荷齿轮箱技术参数 331
表 G-6　FD1660 风电齿轮箱技术参数 332
表 G-7　FD2250 风电齿轮箱技术参数 332
表 G-8　项目产品与国外同类产品主要技术指标对比..... 343
表 G-9　样机运转试验主要测试结果..... 344
表 H-1　2005—2010 年重点实验室部分科研成果 355
表 H-2　近年来重点实验室部分开放课题..... 357
表 H-3　工程实验室部分设备仪器..... 360
表 H-4　工程研究中心部分大型加工设备..... 362
表 H-5　近年来工程实验室获得的部分授权专利..... 363
表 H-6　近年来工程实验室承担的部分科研项目..... 365
表 H-7　近年来工程实验室制订及修订的部分标准..... 368

图目录

图 1-1　齿轮传动的分类 3
图 1-2　机械基础件市场部分产品“十二五”预测 23
图 1-3　2004 — 2010 年我国齿轮产品销售情况 23
图 1-4　齿轮调速传动装置结构示意图 25
图 1-5　百万千瓦级核电循环泵立式行星齿轮箱 26
图 1-6　兆瓦级风电增速齿轮箱 27
图 3-1　世界主要齿轮生产商的市场占有率 54
图 3-2　2000 — 2011 年德国动力传动产业的情况 56
图 3-3　2007 — 2010 年美国齿轮工业订单及发货量 57
图 3-4　2008 — 2010 年日本齿轮产量 58
图 4-1　2005 — 2008 年我国齿轮市场规模示意图 69
图 4-2　齿轮应用的行业分布状况 70
图 4-3　十年来我国齿轮行业总产业规模 76
图 4-4　2009 年我国齿轮行业结构 76
图 4-5　2011 年我国齿轮产品主要进口国家及比例 83
图 4-6　2011 年我国齿轮产品出口企业类别比例 84
图 4-7　2011 年我国齿轮产品生产区域出口的销售额比例 85
图 6-1　我国齿轮行业近年来的总产值 117
图 6-2　2006 — 2011 年我国历年新增及累计风电装机容量 131
图 7-1　2004 — 2010 年我国齿轮国内销售额 142
图 7-2　2004 — 2010 年我国齿轮进出口情况 145
图 9-1　中信重工 16m 数控滚齿机 205
图 9-2　一阶椭圆齿轮 207
图 9-3　二阶椭圆齿轮 207
图 9-4　非圆齿轮流量计 208
图 9-5　非圆行星轮系 208
图 11-1　2012—2016 年齿轮行业收入预测值 246
图 11-2　2012—2016 年齿轮行业利润预测值 246

图 11-3　2011 年部分省市齿轮产量 247
图 A-1　2006 — 2011 年齿轮行业销售额及增长率 252
图 A-2　2006 — 2011 年齿轮行业进出口情况 253
图 A-3　2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模齿轮企业销售收入情况 254
图 A-4　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同规模齿轮企业销售收入情况 255
图 A-5　2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况 256
图 A-6　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况 257
图 A-7　2007—2010 年齿轮、传动和驱动部件制造业利润总额及增长率 .. 258
图 A-8　2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模齿轮企业利润总额 259
图 A-9　2011 年 1—9 月齿轮制造业不同规模齿轮企业利润总额 259
图 A-10 2011 年 1—9 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额 261
图 A-11 2007—2011 年齿轮制造业总资产及增长率 262
图 A-12 截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同规模企业总资产..... 262
图 A-13 截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同所有制企业总资产..... 263
图 A-14 2007 — 2010 年齿轮制造业销售毛利率趋势图 264
图 A-15 2007 — 2010 年齿轮制造业成本费用利润率 265
图 A-16 2007—2010 年齿轮制造业销售利润率 266
图 A-17 2007—2010 年齿轮制造业应收账款周转率对比图 266
图 A-18 2007—2010 年齿轮制造业流动资产周转率对比图 267
图 A-19 2007—2010 年齿轮制造业总资产周转率对比图 267
图 A-20 2007—2010 年齿轮制造业资产负债率对比图 268
图 C-1　齿轮技术路线图..... 286
图 F-1　二等奖中各专业占比情况..... 312
图 F-2　三等奖中各专业占比情况..... 313
图 G-1　项目齿轮箱的传动方案和结构..... 323
图 G-2　项目齿轮箱的动态特性分析..... 324
图 G-3　项目齿轮箱的性能试验..... 326
图 G-4　项目开发的 7 300kW 齿轮调速传动装置 348

第 1 章

我国齿轮产业的战略地位

1.1 齿轮是机械装备的关键基础件

1.1.1 齿轮及其产品

齿轮传动是指利用两齿轮轮齿之间的相互啮合传递动力和运动的一种机械传动方式。在所有的机械传动中，齿轮传动应用最广泛，可实现任意两轴之间的运动和动力传递，是机械产品的重要基础零部件。

齿轮技术的发展经历了长期的过程。尽管我国古代指南车的核心装置就是齿轮传动，但齿轮技术的广泛应用始于 18 世纪的欧洲工业革命。目前，占有统治地位的渐开线齿轮已有 200 多年的历史。

我国的齿轮工业在新中国成立初期几乎为空白，第一个五年计划期间我国开始建设齿轮制造业，20 世纪 60 年代初具规模，到 20 世纪 80 年代初，硬齿面齿轮制造等技术的引进、消化、推广及应用，标志着我国齿轮制造业完整体系的基本形成。

齿轮传动的种类很多，分类方法也较多，图 1-1 所示为齿轮传动的一种分类方法。

1.1.2 齿轮传动的特点

1. 齿轮传动的优点

齿轮传动是机械传动的主要形式之一，主要具有以下优点：

（1）传动比准确　固定速比的齿轮传动可实现瞬时传动比恒定，非圆齿轮传动可实现精确的非匀速比或要求再现的运动函数的传动。

（2）适用范围广

1）传动形式多样。齿轮传动的类型很多，可满足增速、减速、换向、交错轴等各种传动方式的要求。

2）速比范围大。一般单级齿轮传动的速比可达 7，单级行星齿轮传动的速比可达 12.5 或更高，常见渐开线平行轴齿轮箱和行星齿轮箱的级数为 1 ～ 4 级，速比可达 1 000 以上，能满足常见的应用场合。

3）传递速度高。齿轮传动的节线速度最高可达 300m/s，最高转速达 20 000r/min 以上，某些场合的转速可达每分钟十几万转。

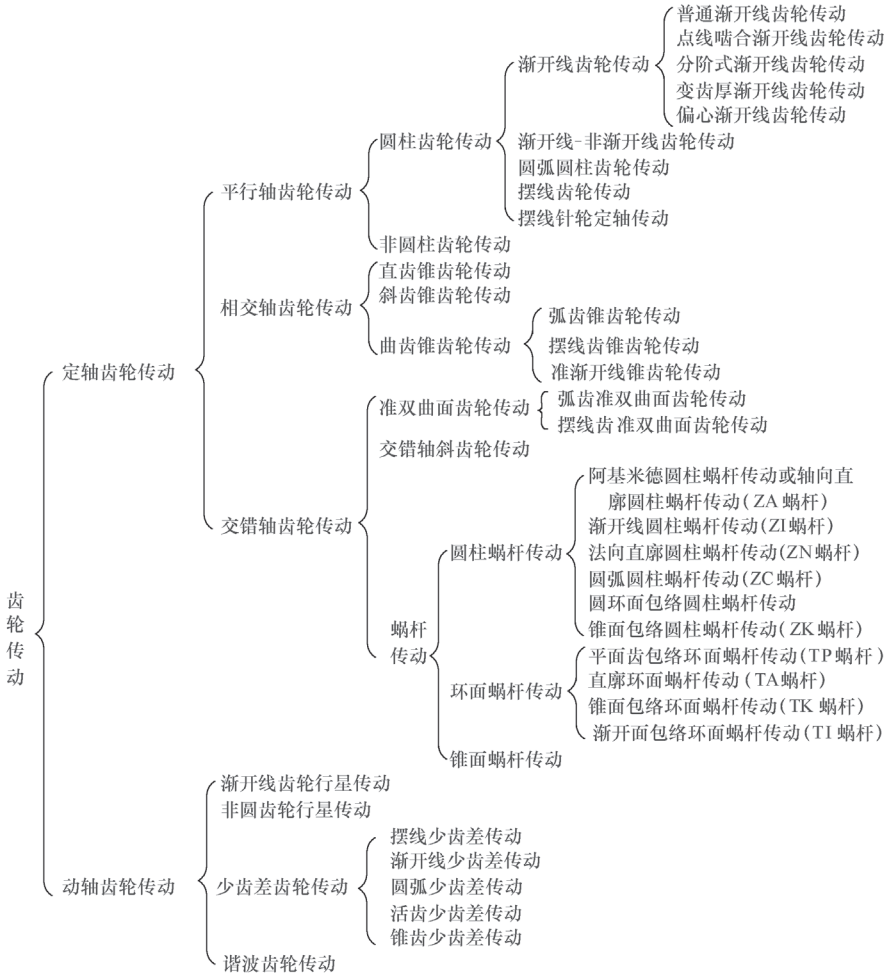


图 1-1　齿轮传动的分类

4）传递功率大。高速齿轮的传递功率最大已达 50 000kW 以上，低速重载齿轮的输出转矩可达 1.4×10^6N·m 以上。

（3）承载能力大　齿轮传动的承载能力较大，同样的传递功率尺寸较小，或同样的尺寸能传递较大的功率或负荷，或者单位体积传递的功率较高。

（4）寿命长、可靠性高　与带传动、链传动等方式相比，齿轮传动的几何特征、制造精度、材料及热处理方式更有利于提高齿轮的寿命和可靠性，要求不高的齿轮产品的寿命可达 5 ～ 10 年，用于重要装备的齿轮产品，如风电增速箱、核电齿轮箱的设计寿命可达 20 ～ 30 年。

（5）传动效率高　随着制造水平和加工精度的提高，齿轮传动的效率可达 0.98 以上，这是其他传动方式难以实现的。

（6）结构紧凑　与带传动、链传动等其他机械传动方式相比，齿轮传动具有功率密度大、尺寸小、结构紧凑等特点，特别是各类行星齿轮传动、谐波齿轮传动等可使传动更为小型化。

2. 齿轮传动的缺点

除上述优点外，齿轮传动的主要缺点如下：

（1）技术复杂程度高　齿轮传动是两个或多个复杂型面的啮合，其齿廓设计、加工、检验等均较为复杂，对设计技术、加工及检验装备的依赖程度很高。

（2）生产周期长、生产成本高　齿轮及其产品的生产，特别是目前广泛使用的硬齿面齿轮的加工工艺非常复杂，从毛坯到精加工之间的工序很多，工艺也很繁杂，导致产品的生产周期较长，属于生产成本较高的机械传动零部件。

（3）投资大　齿轮产品从毛坯到成品需要许多专门的加工、检验设备，如滚齿机、磨齿机、热处理设备、滚刀、精密检验仪器等，这些装备大多是专用、大型、数控设备，单台设备的价格很高。

1.1.3　齿轮的主要失效形式

齿轮的失效包括齿轮轮齿的失效和其他部分的失效，一般所说的齿轮失效是指齿轮轮齿部分的失效。

齿轮的损伤是指齿轮在材料的材质、尺寸、精度、表面状态等基本要素的某一或若干方面，在工艺过程或（和）使用过程中所遭受的内外伤，当齿轮的损伤量积累达到某一界限时便丧失了相应的功能，造成了齿轮的失效。GB/T 3481—1997《齿轮轮齿磨损和损伤术语》将齿轮的损伤分为 6 大类 23 种基本失效形式，部分失效形式还可细分，见表 1-1。

表 1-1　齿轮轮齿磨损和损伤的基本形式

类别		基本形式	具体形式
1	齿面耗损的迹象	滑动磨损	正常磨损（中等磨损、磨光）
			磨料磨损
			过度磨损
			中等擦伤
			严重擦伤
			干涉磨损
		腐蚀	化学腐蚀
			微动腐蚀
			鳞蚀

（续）

类别		基本形式	具体形式
1	齿面耗损的迹象	过热	
		侵蚀	气蚀
			冲蚀
		电蚀	
2	胶合	热胶合	
		冷胶合	
3	永久变形	压痕	
		塑性变形	滚压塑变
			轮齿锤击塑变
		起皱	
		起脊	
		飞边	
4	齿面疲劳现象	点蚀	初期点蚀
			扩展性点蚀
			微点蚀
		片蚀	
		剥落	
		表层压碎	
5	裂缝和裂纹	淬火裂纹	
		磨削裂纹	
		疲劳裂纹	
6	轮齿折断	过载折断	脆性断裂
			韧性断裂
			半脆性断裂
		轮齿剪断	
		塑性变形后折断（抹断）	
		疲劳折断	弯曲疲劳
			齿端折断

齿轮失效的影响因素主要有：材料及其热处理、设计计算、毛坯、加工、装配、运输、使用、维护等。齿轮常见的失效形式是疲劳破坏，即齿面疲劳点蚀和轮齿疲劳断裂。目前，确定齿轮承载能力的设计计算方法主要有以下两种：

1）疲劳强度计算（含齿面接触强度和齿根弯曲强度）。

2）胶合承载能力计算。

在冲击大的使用场合，还需要对静强度进行校核。在一般情况下，由于轮齿疲劳断裂的危害更大，因此，设计计算时要求弯曲强度的安全系数大于接触强度的安全系数。表 1-2 和表 1-3 所列分别为我国和美国相关标准对渐开线圆柱齿轮安全系数的要求。

表 1-2　最小安全系数参考值（摘自 GB/T 3480—1997 附录 A）

使用要求	最小安全系数	
	弯曲安全系数 S_{Fmin}	接触安全系数 S_{Hmin}
高可靠度	2.00	1.50 ～ 1.60
较高可靠度	1.60	1.25 ～ 1.30
一般可靠度	1.25	1.00 ～ 1.10
低可靠度	1.00	0.85

注：1. 在经过使用验证或对材料强度、载荷工况及制造精度拥有较准确的数据时，可取表中数据的下限值。
2. 一般齿轮传动不推荐采用低可靠度的安全系数。
3. 采用低可靠度的接触安全系数值时，可能在点蚀前先出现齿面塑性变形。

表 1-3　可靠度系数 K_R（摘自 AGMA 2001-D04）

使用要求	K_R①
失效率小于 1/10 000	1.50
失效率小于 1/1 000	1.25
失效率小于 1/100	1.00
失效率小于 1/10	0.85②
失效率小于 1/2	0.70②③

① 断齿的危害有时大于点蚀，此时，对弯曲强度应取较大的 K_R 值。
② 此时，可能在点蚀前先出现齿面塑性变形。
③ 由试验数值外插值得到。

1.1.4 齿轮传动的主要发展趋势及关键技术

目前，齿轮传动的主要发展趋势体现在以下几个方面：

1）高速重载齿轮向安全环保、高精高效、可靠智能方向发展。

2）通用齿轮向精品化、成套化、模块化方向发展。

3）汽车齿轮采用现代化制造工艺，可提高精度，减小噪声，降低成本。

4）齿轮传动与其他类型传动（如流体传动、磁力传动）相互融合等。

齿轮传动的关键技术有：

1）小模数齿轮、微小齿轮传动技术。

2）极端环境下的高可靠性、高功率密度齿轮传动技术（如大型风电齿轮箱、高速机车驱动单元等）。

3）特种齿轮传动技术（非圆齿轮、特殊齿形传动等）。

4）绿色制造技术（精锻精铸齿轮）。

5）极端尺寸齿轮制造及精度保证技术（各类微小及特大型齿轮等）。

6）大型传动系统的故障诊断与寿命评估技术等。

从齿轮行业基础性技术方面分析，目前国内外的齿轮发展趋势有如下特点：

1）动力传动齿轮装置向小型化、高速化、标准化方向发展。为达到齿轮装置小型化的目的，必须提高现有齿轮单位质量的承载能力。其主要采用的技术有：①硬齿面制造技术，通过提高齿面硬度来提高齿轮的承载能力，达到缩小装置尺寸的目的；②非渐开线轮齿技术，如用圆弧齿轮缩小齿轮传动装置的体积，英国、法国两国合作研制的舰载直升机主传动系统采用圆弧齿轮后，大大减小了减速器的尺寸；③功率分流技术，如采用行星齿轮传动，在大型风电增速箱及冶金、矿山、水泥等大型传动装置中，行星齿轮传动以体积小、同轴性好、效率高等优点而得到越来越广泛的应用。

2）随着机械设备的大型化，配套的齿轮传动装置向高参数方向发展。如齿轮的传递功率可达 50 000kW 以上，齿轮圆周速度可达 200m/s（转速 12 000r/min）以上，设计工作寿命可达 20 年以上等。轧钢机齿轮的圆周速度已由每秒几米提高到 20m/s，甚至 30 ～ 50m/s，传递力矩达（1 ～ 2）×10^6N·m ，且使用寿命要求在 20 ～ 30 年以上。这些齿轮的精度等级一般为 3 ～ 5 级，并对平稳性与噪声有较高的要求。对于高速齿轮（包括涡轮机械齿轮），当圆周速度超过 100m/s 时，由于运转中的热效应，还要求在设计初始对产生的热变形进行修正，使齿轮在工作时处于正常的啮合状态。特别对于高速重载齿轮，更要加以考虑。

对于低速重载齿轮，如轧钢机齿轮，由于采用硬齿面齿轮后，其齿面负荷系数增加而引起的整个齿轮装置系统的弹性变形变得更加突出，这便要求对齿面的弹性变形进行修正。齿轮轮齿修形技术是目前大功率、高速、重载齿轮制造的一个重要趋势。

3）齿轮制造技术向高精度、高效率、低能耗方向发展。齿轮制造工艺的发展在很大程度上表现为精度等级与生产效率的提高。自 20 世纪 70 年代以来，各种齿轮的制造精度得到了极大的提高，高效制齿机床、数控成形磨齿机的采用大大提高了生产效率。

对于模数不大的中小规格齿轮，由于高性能滚齿机的开发和刀具材料的改善，滚齿效率得到了显著提高。如采用多头滚刀，在大进给条件下，切削速度可达到 90m/s；如用超硬滚刀加工模数约为 3mm 的调质钢齿轮，则切削速度可达 200m/s；尽管插齿效率的提高受到插齿机刀具往复运动机构的限制，但在采用刀具卸载、使用静压轴承、增强刀架与立柱刚性等措施后，插齿效率有明显提高，新型插齿机的行程数也可达 2 000 次 /min。

目前齿轮制造的重点是硬齿面轮齿的加工，尤其是大型硬齿面齿轮的切削与热处理工艺的发展。超硬切齿、滚内齿、成形磨齿、大模数齿轮珩齿、弹性砂轮抛光、轮齿修形、深层渗碳等新工艺正在生产上不断地被试验与应用。

此外，还有一些新的工艺方法，如美国格里森公司研制的 G — TRAC No765 型轨道式切齿机，1h 可加工 88 个齿轮，比普通滚齿机提高了 3 ～ 4 倍；双刀盘高效切齿工艺，切削速度可达 137m/s，粗、精加工一个模数为 1.5mm、外径为 24.43mm、齿宽为 19mm 的斜齿轮，只需 6s，加工效率为普通工艺的 5 ～ 10 倍；美国密歇根工具公司生产的多刀头插齿机的加工效率比普通插齿机提高了 5 ～ 10 倍；同时，汽车行业中的齿轮精密冷成形工艺，冷挤、热轧等少、无切削工艺也不断获得了新的发展。

4）计算机技术在齿轮的设计、制造应用方面发展迅速。利用计算机技术、数值计算技术、图像处理技术等可对各种可能的设计方案进行计算、分析和比较，并通过优选获得较为理想的结果，也可对传动的性能、制造过程等进行分析仿真。例如：可实现对齿面接触区的分析；在齿轮加工方面，可以利用计算机控制整个切齿过程，保证制造质量稳定可靠；通过对弧齿锥齿轮的切齿调整的计算，可实现对加工偏差的及时调整，以使齿面接触达到理想的位置，并大大提高加工效率。此外，根据数控原理，可通过编程实现对环面蜗杆螺旋齿面的抛物线进行修形等。

计算机技术在齿轮传动设计和制造中的应用和渗透，对提高齿轮技术水平和制造质量具有重要意义和广阔的发展前景。

从齿轮行业的应用技术方面来分析，目前主要的应用技术研究包括：

（1）新型机电液复合精密传动理论与综合控制技术　随着各项技术的发展及技术间的相互渗透，国外液压传动与控制技术、气动传动与控制系统、液力调速传动技术等在传统机械传动产品中的应用日益普遍和成熟。我国在此领域内也开展了一系列的工作，但与国外先进技术相比还有相当大的差距。例如，汽车自动变速器就是一个典型的例子。

目前，国内外汽车自动变速器主要有三种形式：液力机械式自动变速器（AT）、机械式无级变速器（CVT）、电控机械式自动变速器（AMT）。汽车自动变速器按照动力源又可分为液压、电动、气动三种形式。电控机械式变速器无论在国内还是在国外都具有良好的发展趋势。在国内，手动变速器必然会被电控机械式自动变速器（AMT）取代，由于具有非常好的性能价格比，AMT 还将超越从国外引进的液力机械式自动变速器（AT），从而占有更多的汽车自动变速器市场份额。

发达国家的自动变速车型已占到轿车保有量的 80% 左右，其中美国的普及率最高，已达到 90% 左右，日本达到 70% 左右，而且客车几乎全部使用自动变速器。从发展趋势上看，汽车市场几乎成为汽车自动变速器的市场，据分析，AMT 在全球的潜在价值达 10 亿美元以上。

我国汽车自动变速器的普及率较低，目前国内还没有一家汽车制造企业生产采用 AMT 和 CVT 的商品车。近年来，由于我国汽车产量、销量不断提高，非职业驾驶员的数量急剧增加，汽车市场上的价格、性能竞争日趋白热化，均强化了对汽车自动变速器的迫切需求。

（2）大型风力发电机组传动装置成套技术　目前，风力发电机组正向着大型化方向发展，国际上主流机型的容量为 1.5 ～ 2.5MW，德国瑞能（Repower）公司生产的容量为 5.0MW 的机组已于 2006 年 2 月投入运行，由中国船舶重工集团公司研制的容量为 5MW 的海上风电机组样机也于 2012 年 7 月 27 日在重庆成功下线。近几年来，我国在风力发电机组国产化方面取得了较大的成绩，不论是单机容量还是产品结构类型都取得了快速进步，特别是行星齿轮等功率分流传动方式得到了广泛应用。表 1-4 所列为部分风电增速箱制造商及产品规格。

表 1-4　部分风电增速箱制造商及产品规格

制造商	主要产品规格容量 / kW
南京高精传动设备制造集团有限公司	750、800、850、1 000、1 250、1 500、1 650、2 000、3 000
重庆齿轮箱有限责任公司	750、800、850、1 000、1 250、1 500、1 650、2 000、2 500、3 000、3 600、5 000
杭州前进齿轮箱集团股份有限公司	600、800、1 300、1 500、2 000、2 500、3 000
大连重工起重集团	1 500、3 000、6 000
德阳二重集团公司	1 000、1 500、2 000、2 500
太原重工股份有限公司	1 000、1 500、2 000、2 500、3 000、3 600、5 000
威能极风力驱动（天津）有限公司	850、1 500、2 000
汉森传动（天津）减速机有限公司	1 500、2 000、6 000
德国博世力士乐公司	850、2 000、3 000、5 000、7 000

（3）大模数齿轮传动装置的设计制造技术　随着一些陆地油田日渐枯竭，我国未来原油增量则主要来自海上，我国 2010 年实现国内 5 000 万～ 5 500 万方油当量，海外实现权益油 2 000 万方油当量的战略目标。随着海洋石油的大发展，对勘探、开采、输送设备等提出很高的技术要求。其中传动、锁紧、提升机构齿轮模数要求越来越大（一些齿轮模数已高达 100mm 以上）。受技术、装备能力的限制，目前我国大模数齿轮仍采用软齿面或中硬齿面工艺，而国外普遍采用硬齿面工艺，大大减小了齿轮的尺寸，提高了设备的寿命和可靠性。大模数重载齿轮渗碳和感应淬火的最大技术难点是“深层”问题，硬化层深度通常达 5mm 以上，如日本大型轧钢机人字齿轮和美国 16m^3、23m^3 大型挖掘机齿轮的渗碳层深度达 8mm，三峡升船机齿轮齿条的硬化层深度达 9mm。我国在深层硬齿面齿轮制造方面差距明显。

（4）高参数齿轮传动装置的设计及制造技术

1）工业用高参数齿轮装置。高参数齿轮装置与原动机、工作机等组成的机组是现代大型成套设备的核心，对生产全过程的正常运行起着关键作用，一旦出现事故，会造成工艺流程的全线瘫痪，经济损失巨大。高参数齿轮装置在设计制造上集中了许多高精尖技术，如采用热弹变形修形技术，进行临界转速和动力响应分析计算，额定转速下整机试验等。

20 世纪 90 年代中期以来，随着国门越来越敞开，国外公司开始大举抢占我国市场，不断推出新型齿轮箱产品，不但在承载能力等主要技术指标上有较大提高，而且在模块化设计方面也作了新的改进。例如，德国弗兰德（Flender）公司从 1993—1999 年间每两年就更新一次样本，每一次都在技术上有新的提高。1995 年生产的产品的额定功率比 1993 年生产的提高了 10% ～ 20%，1997 年生产的又比 1995 年生产的提高了约 20%，1999 年生产的又比 1997 年生产的提高了约 10%。承载能力之所以能不断提高，主要是依靠新技术的开发应用和高水平的质量控制。

20 世纪 80 年代，郑州机械研究所、南京高速齿轮箱厂、沈阳鼓风机厂等单位联合从美国费城齿轮公司引进了全套高速重载硬齿面齿轮的设计制造技术，并开展了修形等制造技术的研究工作，使我国工业齿轮特别是高速齿轮成套设计制造技术获得了质的飞跃。硬齿面制造技术在我国行业的推广以及大批硬齿面齿轮新产品的开发，促进了我国齿轮工业完整体系的基本形成。

尽管我国的工业用高参数齿轮装置取得了长足进步，部分产品达到了国际先进水平并实现了出口，但总体上讲仍存在不小的差距，主要表现在：

①新技术、新材料、新工艺的应用水平有待提高。如整体动力学分析技术、精密修形技术、机电液复合传动及控制技术等。表现在产品的性能指标，如传递功率、线速度等与国外先进水平还有差距：a. 我国生产的高速齿轮最高线速度小于 200m/s，国外先进产品的最高线速度可达 300m/s；b. 我国生产的齿轮箱用于速度小于 200km/h 的高速机车，国外先进产品可用于速度达 380km/h 的高速机车；c. 我国生产的齿轮调速装置的功率小于 5 500kW，国外先进产品可达 12 000kW 等。

② 综合制造技术水平不高，产品寿命和可靠性不尽如人意。与外国公司生产的同规格产品相比，除性能指标外，我国生产的产品往往在外观质量、尺寸、重量、振动、噪声、温升、故障频次、大修时间间隔及寿命等方面也存在一定差距，反映出我国齿轮工业在齿轮材料、制造工艺、装配、安装、运行及维护等方面仍存在差距。

2）军用超高速齿轮传动装置。超高速齿轮传动装置在各型导弹发电机、战机及导弹飞控系统、舰艇传动系统、各种高速齿轮泵、高速试验台等系统中得到较为广泛的应用。如：国内某电机厂生产的导弹发电机及其试验用装置中的齿轮转速达到了 30 000 r/min、60 000 r/min，目前正准备研发转速为 120000 r/min、线速度高达 300 m/s 的齿轮传动装置；航天工业使用的某型号高速齿轮泵及其试

验台中的齿轮转速也在 14 000r/min 以上；而某些压气机超高速试验台的齿轮转速高达 55 000r/min，线速度高达 345m/s，功率为 2 200kW（转速和线速度之高在国内、国外都是罕见的）。

从目前的武器装备来看，使用超高速齿轮传动装置的情况越来越多，这主要与我国军事装备向着高、精、尖方向发展有关。现代战争打的是先进的武器装备，美国、俄罗斯的军事装备非常先进，其齿轮传动装置的精度通常比我国的高 1 ～ 2 级，可靠性及振动、噪声控制也高一个档次。我国航空、航天领域使用的传动装置线速度要求越来越高，它反映了我国的科技实力和国防实力在不断增强。但由于我国高速齿轮起步较晚，虽然经过 20 世纪 80 年代的测绘仿制和技术引进等过程，基本形成了我国渐开线高速齿轮的理论基础和设计制造规范，产品水平也有了质的提高，但在产品性能、寿命及可靠性方面，特别是在 150m/s 及 30 000r/min 以上的超高速齿轮传动的研究方面与欧美先进水平差距较大，因此要发展我国的尖端武器、发展我国的航空航天事业，我们必须立足国内，进行自主研究。

（5）超小体积机械传动的设计制造技术　超小体积谐波齿轮传动装置及行星齿轮传动装置广泛应用于导弹、战机、卫星、火箭、风洞试验设备的飞控和制导等系统中，使用量大。目前使用的谐波、行星齿轮装置等，存在着体积和重量较大、精度偏低、噪声大、连续工作时间较短、寿命不长等问题，远不能满足航空、航天军品的需求，亟待改进。

国外一流飞控系统和制导系统中的高参数谐波和行星齿轮传动装置均具有设计合理、零件精度高、传动平稳、振动小、噪声低、可靠性高等优点，齿轮的精度等级相当于我国现行标准的 4 ～ 6 级，比我国产品高 1 ～ 2 级，使用寿命是我国产品的 2 倍以上。其原因是世界军事强国同时也是工业强国，一方面其数控机床、专机自动化程度高，精度高，加工工艺先进，能够保证制造精度和质量；另一方面，其设计能力强，注重装置的结构和参数优化，而且注重不断改进和完善。我国此类高参数齿轮装置吸收了一些国外的先进技术，应用了一些我国自己的研究成果，使产品的整体质量和性能有了较大提高，但在设计技术、新材料、制造工艺（包括热处理工艺）、制造设备、试验测试技术等方面还同国际先进水平有较大差距。

几种国外的短筒柔轮谐波减速器与国产精密杯形谐波减速器的主要参数对比见表 1-5。

表 1-5　国内外谐波减速器主要参数对比（速比为 100）

	国外短筒柔轮谐波减速器		国内杯形柔轮谐波减速器		
型号	20	25	20	25	60
长度 /mm	14	17	—	29	55
输出转矩 /N•m	25	48	—	2.5	25

从表 1-5 中可以看出，我国谐波齿轮传动装置尺寸较大，但承载能力反而较小，差距明显。说明我国与外国在谐波齿轮传动技术上存在很大的差距。

（6）新型齿轮传动理论与加工装备的研究　新型齿轮传动包括两方面的含义：一方面是传统齿轮传动在新型领域的应用，如外啮合齿轮泵、软起动传动装置等；另一方面是新型齿形齿轮装置的应用，如非圆齿轮、内啮合齿轮泵、微线段齿轮、单 / 双螺杆压缩机等。随着计算机技术和数控加工技术的发展，这些应用日益广泛，进入了一个新的实用化时期。但我国在此领域与国际先进水平相比仍具有明显不足，例如：在输送用高粘度齿轮泵方面，国内缺乏现场工业数据和深入的理论研究，如输入特性的实验研究等；在特殊齿形齿轮产品方面，由于设计技术复杂、齿形加工有一定难度，这类产品在国内应用的深度和广度都与国外存在较大的差距。

（7）汽车齿轮冷精密成形成套技术与装备研究　我国有几百个规模较大的专业齿轮生产厂，全行业每年生产各种类型齿轮约 10 亿件，齿轮产品年产值已达 700 多亿元，而且约 2/3 是模数较小的车辆齿轮产品。

目前大多数齿轮都采用切削加工的方法进行生产，生产效率较低。例如一个小直径齿轮，其制齿工序需耗时 10 ～ 20min，而且材料利用率也低（一般材料利用率仅为 30% ～ 40%），大量宝贵的金属变成了切屑，同时也浪费了许多能源。用新型冷精密成形的方法生产齿轮，能达到高效、节材的目的，并能达到汽车齿轮所需要的精度。汽车齿轮主要有直齿、斜齿圆柱齿轮及锥齿轮三种。目前针对汽车用直齿、斜齿圆柱齿轮和直齿锥齿轮进行冷精密成形工艺及装备的技术还有待进一步研究。

用冷精密成形方法来加工齿轮，齿轮的齿形及外形均可由一次冷精密成形得到。因此，冷精密成形方法既能大大提高生产效率，又能显著节约材料。与切削加工方法相比，冷精密成形方法的生产效率一般能达到 10 ～ 20 件 /min，可节约材料 20% ～ 30%，使齿轮总的生产成本降低 10% ～ 20%。

1.2 我国齿轮工业为国家重大装备和重点工程发挥了重要的支撑作用

1.2.1 齿轮传动的主要特点和适用领域

齿轮传动常见于现代工业的各类装备中，它甚至通过手表、闹钟、家用汽车等渗透到我们的日常生活之中，可以说齿轮是工业的象征，是机械工业的基础。

齿轮产品的种类繁多，可适用于几乎所有的机械转动中。表 1-6 所列为按传动轴位置关系分类的齿轮传动形式，表 1-7 所列为常见齿轮产品的主要特点及其适用领域。

表 1-6 常用齿轮传动方式

平行轴齿轮传动	相交轴齿轮传动	交错轴齿轮传动
外啮合圆柱齿轮传动 （各类齿形的直齿、斜齿）	直齿锥齿轮传动	交错轴斜齿轮传动
内啮合圆柱齿轮传动 （各类齿形的直齿、斜齿）	斜齿锥齿轮传动	各类蜗杆传动
外啮合非圆齿轮传动（常见渐开线直齿）	曲线齿锥齿轮传动	准双曲面齿轮传动
内啮合非圆齿轮传动（常见渐开线直齿）		

表 1-7 常见齿轮产品的主要特点及其适用领域

名称	主要特点	传动比	传递功率	速度	适用领域
渐开线圆柱齿轮	应用最广泛的一种齿轮。具有传动功率和速度范围大，效率高（单级效率可达 98% 以上），对中心距敏感性小，装配及维修方便，加工刀具、机床及检验工具齐全、精度高等特点	单级为 6.3（硬齿面），四级传动可达 1 000 以上	低速重载传动可达 6 000kW 以上，高速传动可达 40 000kW 以上	节线速度可达 200m/s 以上，最高转速可达每分钟数万甚至十几万转	高速涡轮机齿轮，机车齿轮，大型轧机齿轮，起重机减速器，化工、建材机械齿轮等
渐开线行星齿轮	应用范围日益广泛。具有速比大、体积小、重量轻、效率高、承载能力大等优点。常见的 NGW 型与普通圆柱齿轮减速器相比，体积和重量可减少 30%～50%。结构相对复杂，制造难度大于普通渐开线齿轮	NGW 型单级可达 12.5，三级可达 2 000	NGW 型可达 10 000kW 以上	高速行星传动和低速重载行星传动均有应用	风电增速箱、偏航变桨减速器，核电循环泵，盾构机，冶金、矿山等低速重载机械；压缩机、制氧机等高速大功率减速器

（续）

名称		主要特点	传动比	传递功率	速度	适用领域
圆弧圆柱齿轮	单圆弧齿轮	轮齿为凸凹啮合，接触强度大于渐开线齿轮，只能做成斜齿轮，对中心距误差较敏感，互换性比渐开线齿轮差	与渐开线圆柱齿轮相同	高速传动可达 6 000kW 以上	可达 100m/s 以上	石油机械、轧机主减速器，制氧机、压缩机等减速器
	双圆弧齿轮	弯曲强度、传动平稳性优于单圆弧齿轮				
锥齿轮	直齿锥齿轮	与曲线齿锥齿轮相比，制造较易，轴向力较小	最大可达 8	<370kW	<5m/s	用于汽车、机床、拖拉机等轴线相交的场合
	斜齿锥齿轮	与直齿锥齿轮相比，总重合度大，噪声低				用于机床、汽车行业
	曲线齿锥齿轮	比直齿锥齿轮传动平稳，噪声小，承载能力大。由螺旋角而产生的轴向力较大		<746kW	一般大于 5m/s，磨齿时大于 40m/s	用于汽车驱动桥、拖拉机及机床等
准双曲面齿轮		比曲线齿锥齿轮传动更平稳。利用偏置距可增大小齿轮直径，故可增加小齿轮刚度，实现两端支承。沿齿长方向有滑动，传动效率比直齿锥齿轮低，需要准曲面齿轮油润滑	一般为 1 ～ 10，用于代替蜗杆传动时，可达 50 ～ 100	<750kW	>5m/s	广泛应用于越野车及小客车，也可用于载货汽车，可用以代替蜗杆传动

（续）

名称		主要特点	传动比	传递功率	速度	适用领域
蜗杆	普通圆柱蜗杆	传动比大，运转平稳，噪声较小，结构紧凑，在一定条件下有自锁性，效率较低	8 ～ 80	<200kW	<15 ～ 35m/s	多用于中小负载间歇工作情况下，如轧机压下装置，小型转炉倾动机构等
	圆弧圆柱蜗杆	接触线形状有利于形成油膜，主平面共轭齿面为凸凹齿啮合，传动效率和承载能力都高于普通圆柱蜗杆				用于中小负载间歇工作情况下，如轧机压下装置等
	环面蜗杆	接触线与相对速度的夹角接近 90°，有利于形成油膜，同时接触齿数多，当量曲率半径大，因而承载能力高，一般比普通圆柱齿轮大 2 ～ 3 倍，但制造工艺较复杂	5 ～ 100	<4 500kW		轧机压下装置，各种绞车、冷挤压机、转炉、军工产品等
	锥面蜗杆	同时接触齿数多，齿面易得到充分润滑和冷却，易于形成油膜；传动较平稳，效率比普通圆柱蜗杆高；设计和制造较复杂	10 ～ 359			适用于结构要求比较紧凑的场合
摆线针轮定轴传动齿轮		有外啮合（外摆线）、内啮合（外摆线）和齿条（渐开线)啮合三种形式。与一般齿轮相比，具有结构简单、造价低、便于维修等优点	5 ～ 30		0.05 ～ 0.5m/s	多用于低速、重载和润滑条件差等工作条件恶劣的场合。如起重机回转机构、磨煤机传动机构、磷肥工业用化成室、工业加热炉用台车拖曳机构等

（续）

名称		主要特点	传动比	传递功率	速度	适用领域
非圆齿轮		可以实现特殊的运动和函数运算，可以提高机构的性能，改善机构的运动条件	瞬时传动比是变化的，平均传动比为常数			常见的是椭圆齿轮，一阶椭圆齿轮广泛应用于自动机器、仪器仪表、印刷机械、纺织机械、包装机械等，二阶椭圆齿轮（卵形）常用于流量计，非圆行星齿轮多用于大转矩液压马达等
交错轴斜齿轮		由两个螺旋角不等或相等，但旋向相同的斜齿轮组成的齿轮副，两齿轮的轴线可交错成任意角度				用于空间传动机构
少齿差传动	渐开线少齿差传动	内外齿轮的齿廓均为渐开线，结构简单，生产成本低。与通用渐开线圆柱齿轮传动（或蜗杆传动）相比，具有传动比大、体积小、重量轻、结构紧凑等优点，承载能力较强，传动效率为 0.80 ～ 0.94	单级为 10 ～ 100	常用不超过 55kW，最大可达 100kW	一般高速轴转速不超过 1 500 ～ 1 800r/min	起重运输机械、轻工机械、化工机械、食品机械、仪表、机床与附件、工程机械等
	摆线少齿差传动	以外摆线作为行星轮齿的齿廓曲线，是少齿差传动中应用最广泛的一种形式，单级传动效率可达 0.80 ～ 0.98；多齿啮合，承载能力高，寿命长；主要零部件加工精度要求高，齿形检测困难，制造成本较高，大尺寸摆线轮加工困难	单级为 11 ～ 87，双级为 121 ～ 5 133	常用的小于 110kW，最大的小于 220kW		广泛用于矿山、冶金、石化、轻工、纺织、国防工程、起重运输等各类机械

（续）

名称		主要特点	传动比	传递功率	速度	适用领域
少齿差传动	圆弧少齿差传动	又称圆弧针齿行星传动。结构形式与摆线少齿差传动基本相同，行星轮的齿廓曲线为凹圆弧，轮齿与针齿为凸凹内啮合，且曲率半径相差很大，承载能力高	单级为11～71	0.2～30kW	高速轴转速不超过1 500～1 800r/min	用于矿山运输、轻工、纺织及印染机械等
	活齿少齿差传动	固定齿圈上的齿形为圆弧或其他曲线，行星轮上各轮齿为单个活动构件（如滚珠），效率为0.86～0.87	单级为20～80	<18kW	高速轴转速不超过1 500～1 800r/min	主要用于矿山、冶金机械
	锥齿少齿差传动	采用一对少齿差的锥齿轮，以轴线运动的锥齿轮与另一固定锥齿轮啮合产生摆线运动代替了原来行星轮的平面运动	单级小于200			用于矿山机械
谐波齿轮		具有传动比大、元件少、体积小、重量轻等特点。相同条件下比一般减速器的元件少一半，体积和重量减少20%～50%；同时啮合齿数多，承载能力高，误差可相互补偿，运动精度高，可通过调整波发生器实现无侧隙啮合，运转平稳、噪声低。柔轮的制造工艺复杂	单级为1.002～1.02（波发生器固定，柔轮主动时）或50～500（柔轮或钢轮固定，波发生器主动时）	几瓦到几十千瓦		主要用于航空、航天、雷达系统等，也可应用于造船、汽车、机床、仪表、冶金、起重运输、医疗器械，光学机械中的精密传动，工业机器人，武器系统和无线电跟踪系统等

齿轮传动装置包括减速器、增速器、变速器等，也可通称为齿轮箱，使用最广的是各类齿轮减速器，如圆柱齿轮减速器、锥齿轮减速器、行星齿轮减速器及蜗杆减速器等。

1.2.2 齿轮产品分类

行业内按照齿轮使用场合的不同，一般将齿轮分为车辆齿轮、工业通用齿轮、工业专用齿轮及齿轮相关产品等。

1．车辆齿轮

这类齿轮的特点是齿轮的形状和尺寸变化有限，产品批量大，易于专业化、规模化生产，追求满足产品性能下的低成本生产和销售。

车辆齿轮的分类如下：

（1）汽车齿轮

1）变速器总成。

2）分动器总成。

3）取力器总成。

4）差速器总成。

5）汽车圆柱齿轮。

6）同步器及齿环。

7）汽车弧齿锥齿轮和直齿锥齿轮。

（2）摩托车齿轮

（3）农用运输车齿轮

（4）农机齿轮

1）拖拉机变速器。

2）联合收割机变速器。

3）割草机变速器。

4）农机圆柱齿轮。

5）农机同步器及齿环。

6）农机弧齿锥齿轮和直齿锥齿轮。

（5）工程机械齿轮

1）动力换挡变速器。

2）转向驱动桥总成。

3）工程机械圆柱齿轮。

4）工程机械弧齿锥齿轮和直齿锥齿轮。

2．工业通用齿轮

为各类成套机械装备配套的各种齿形、各类传动方式、各类结构的通用齿轮箱，具有系列化、模块化、批量化生产和销售的特点。

工业通用齿轮的分类如下：

（1）渐开线圆柱齿轮减速器

（2）起重机用减速器

（3）圆弧齿轮齿轮箱

（4）圆柱齿轮－锥齿轮减速器

（5）蜗杆减速器

（6）行星齿轮箱

（7）摆线针轮减速器

（8）谐波传动减速器

3．工业专用齿轮

工业专用齿轮主要指为特定工作机械配套的、专用的减（增）速器，往往具有单台或小批量、多品种、订单式生产的特点，追求适度成本下的高性能、高参数和高可靠性。

工业专用齿轮的分类如下：

（1）高速齿轮箱

（2）船用齿轮箱

（3）风电齿轮箱

（4）核电齿轮箱

（5）火电、核电齿轮调速装置

（6）机车齿轮驱动单元

（7）齿轮齿条升降装置

（8）冶金机械齿轮箱

（9）煤矿机械齿轮箱

（10）石化机械齿轮箱

（11）建材机械齿轮箱

（12）轻工、纺织机械齿轮箱

（13）机床齿轮等

4．齿轮相关产品

这类产品可看做具有齿轮相关特征的产品，往往是普通参数和形状的齿轮产品在特殊领域的应用或特殊参数和形状的齿轮产品在通用领域的应用。

齿轮相关产品的分类如下：

（1）齿式联轴器

（2）齿轮泵

1）内啮合摆线齿轮泵。

2）外啮合齿轮泵。

（3）特殊齿轮产品　如螺杆压缩机的阴阳转子可视为特殊型面的齿轮转子，单螺杆压缩机的啮合副可看做特殊参数的环面直廓蜗杆传动等。

上面的分类基本是按传动形式和应用场合分的。按材料还可分成金属材料、非金属材料（如塑料齿轮）；按成形方式还可分成机械加工齿轮（如常用的滚齿＋磨齿）、精密铸造和锻造齿轮及粉末冶金齿轮等。

在我国齿轮行业三大市场（车辆齿轮、通用工业齿轮、专用工业齿轮）中，车辆齿轮占齿轮市场总额的62%，汽车齿轮又占车辆齿轮总额的62%，即汽车齿轮占整个齿轮市场近40%的份额，汽车产业是齿轮行业最重要的下游产业。

1.3　齿轮已成为我国机械基础件中规模最大的产业

机械基础件包括齿轮、轴承、紧固件、链传动、弹簧、传动联结件、粉末冶金件、液压件、气动件及密封件等，它们是机械工业的基础，广泛应用于汽车、机床、农机、冶金、化工、仪表、兵器、航空航天及建筑等国民经济各领域。“十一五”期间，机械通用零部件行业得到了快速发展，生产总值从2005年的1 139亿元增长到2010年的2 500亿元，增长了1.19倍，年增长率为17%。

“十一五”期间，我国齿轮产业在汽车、风电、高铁及工程机械等产业快速发展的拉动下得到了迅速发展，齿轮产品的产销规模已经达到1 450亿元。齿轮行业已成为我国机械基础件中规模最大的行业，我国已经成为名副其实的世界齿轮制造大国，但离制造强国还有很大差距。总体而言，我国齿轮产品正经历从中低端向高端的转变，少数高端产品已达到国际先进水平。但是，我国齿轮产品还不能满足重点工程装备的配套要求，高端产品仍受制于人，汽车自动变速器、高铁驱动单元、大型能源装备齿轮传动装置等高端产品大量依赖进口，进出口逆差仍在逐年加大。表1-8所列为2010年我国机械通用零部件行业状况，表1-9所列为2004—2010年我国齿轮产品进出口额统计，表1-10所列为2010年部分机械基础件产品的世界排名，图1-2所示为机械基础件市场部分产品“十二五”预测，图1-3所示为2004—2010年我国齿轮产品销售情况。

表1-8　2010年我国机械通用零部件行业状况

类别	年销售额/亿元	占比（%）	同比增长率（%）	进口额/亿美元	同比增长率（%）	出口额/亿美元	同比增长率（%）
齿轮	1 450	58.2	20	106.1	46	27.2	58

（续）

类别	年销售额/亿元	占比（%）	同比增长率（%）	进口额/亿美元	同比增长率（%）	出口额/亿美元	同比增长率（%）
紧固件	560	22.5	15	28.6	25	36.5	46
链条	148	5.9	35	2.3	14	7.1	25
弹簧	145	5.8	34	5.4	39	1.9	50
传动联结件	83	3.3	36			0.8	0
粉末冶金	106	4.3	19	3.5	-33	2.8	44
合计	2 492		21	145.9	36	76.3	41

注：数据来自中国机械通用零部件工业协会。

表 1-9　2004 — 2010 年我国齿轮产品进出口额统计

（单位：亿美元）

年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
进口额	19.93	22.48	33.70	50.62	65.00	72.6	106.10
出口额	15.34	16.57	25.96	11.94	20.20	17.14	27.20
逆差	4.59	5.91	7.74	38.68	44.80	55.46	78.90

表 1-10　2010 年部分机械基础件产品的世界排名

产品名称	生产规模/亿元	世界排名
齿轮	1 450	第 3 位
轴承	1 260	第 3 位
液压元件及系统	351	第 2 位
模具	1 631	第 2 位
气动元件	116	第 2 位
紧固件	560	第 1 位
链条	148	第 3 位

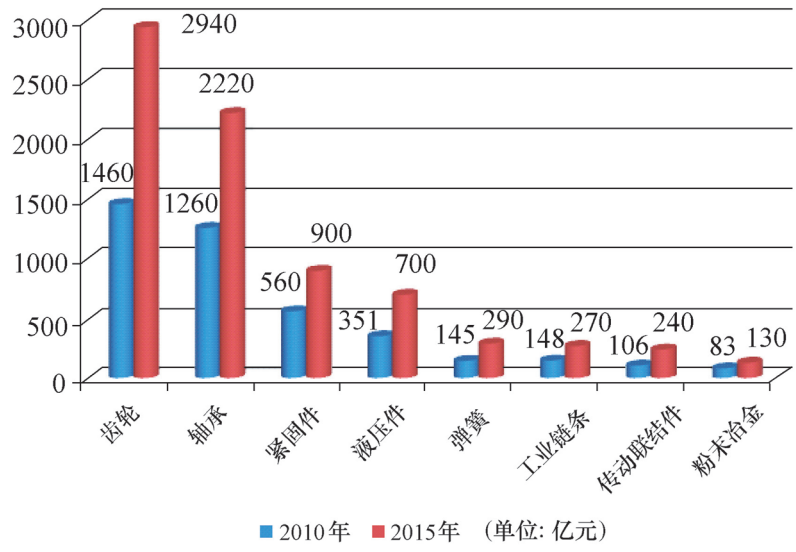


图 1-2　机械基础件市场部分产品“十二五”预测

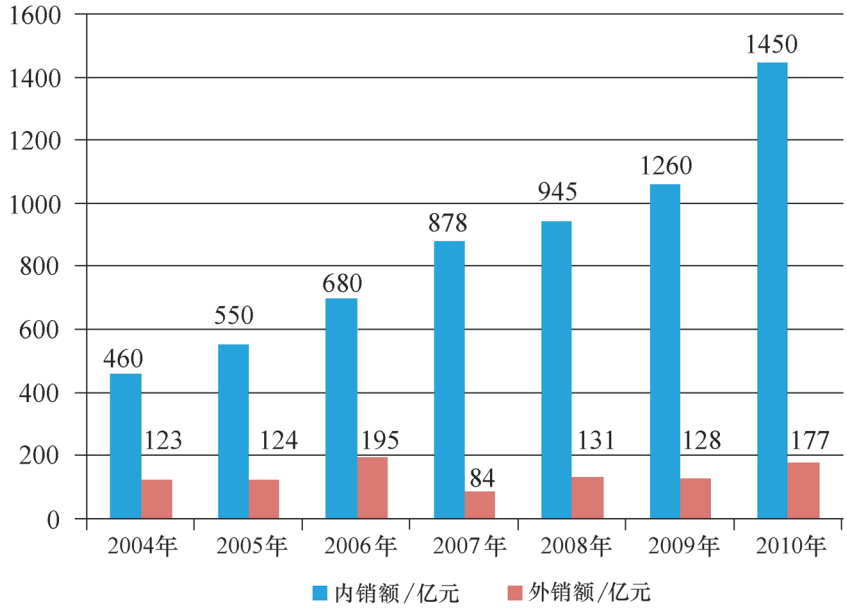


图 1-3　2004 — 2010 年我国齿轮产品销售情况

2010 年，机械通用零部件全行业进口额为 145.9 亿美元，齿轮进口额为 106.1 亿美元，占 72.7%；2010 年行业产品出口额为 76.3 亿美元，齿轮出口额为 27.2 亿美元，占 35.6%；2010 年机械通用零部件行业逆差为 69.6 亿美元，而齿轮进出口逆差为 78.9 亿美元，齿轮产品的进出口单价比约为 3.5（紧固件为 6.3）。进口齿轮产品中，车辆齿轮占 61%，工业齿轮占 39%；出口齿轮产品中，车辆齿轮占 20%，工业齿轮占 80%。从表 1 -9 可以看出，齿轮进出口逆差逐年扩大，表明我国高端齿轮产品与国外先进水平的差距有逐渐扩大的趋势。可以看出，齿轮行业的技术进步对全行业的发展具有重要作用。

1.4 齿轮是七大战略性新兴产业中的核心零部件

2010 年 10 月，国务院发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》（国发〔2010〕32 号），把节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造业、新能源、新材料、新能源汽车七大产业作为下一步发展的重点方向和主要任务，统筹部署，集中力量，加快推进。

齿轮产品在装备制造业、新能源、新能源汽车等领域起着重要的作用，在节能环保、新材料等领域也发挥着重要的作用。以新能源为例，齿轮产品所起的重要作用主要表现在以下方面：

（1）超临界 / 超超临界火电机组齿轮调速传动装置　齿轮调速传动装置可在电动机转速不变的情况下实现输出转速和输出功率的无级调节，具有降低功耗、延长机械设备寿命、控制精度高、可靠性高、减少冲击振动、运转及维护成本低等特点，是大型火电机组锅炉给水泵等的重要设备。目前，国外齿轮调速装置的最大传递功率可达 60 000kW，最高转速达 20 000r/min，效率为 95% ～ 97%。而我国超临界、超超临界机组发展较晚，于 20 世纪 80 年代开始从国外引进 30 万 kW、60 万 kW 亚临界机组，第一台超临界机组于 1992 年 6 月投产于上海石洞口二厂（参数：2×600MW，25.4MPa，541℃ /569℃）。随着火力发电技术的迅猛发展，齿轮调速传动装置正在向大功率、高速、高可靠性方向发展，然而我国在高参数、大功率、高可靠性调速传动装置方面与国外先进水平差距很大，仅能生产 5 000kW 以下的中小型号，大型调速装置的研究开发尚为空白，特别是用于超临界 / 超超临界火电机组锅炉给水泵的机电液调速传动装置现仍全部依赖进口，自 1983 年我国进口齿轮调速传动装置以来，国内进口量已超过 2 000 多台。图 1-4 所示为齿轮调速传动装置结构示意图。

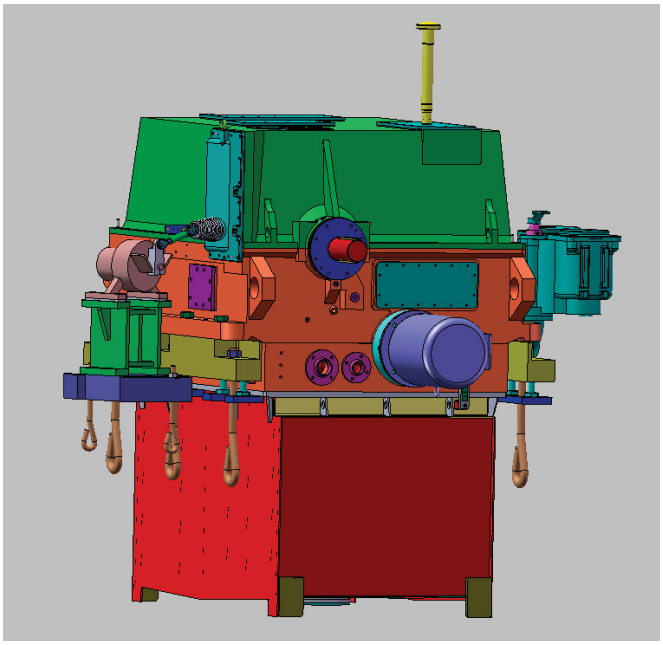


图 1-4　齿轮调速传动装置结构示意图

（2）百万千瓦级核电站行星齿轮传动装置　截至 2009 年底，我国先后核准了 10 个核电项目，共 28 台机组，总装机容量为 3 140 万 kW，已开工建设核电机组 20 台，总装机容量 2 182 万 kW。另外，目前还有 21 台机组已明确开展前期工作，我国已经成为目前世界上在建核电规模最大的国家。另一方面，目前我国核电装备国产化率较低，核电投资较大。如 1994 年投入运行的大亚湾核电站的全部设备及配套、备用件均由法国提供，大亚湾核电站最终的造价高达 40.7 亿美元，折合每千瓦造价达到 2 261 美元。而同样采用法国技术，2003 年投入运行的岭澳核电站，由于中方分包了核岛 11%、常规岛 23%、辅助设施 50% 的设备制造任务，使每千瓦造价降到 1 745 美元。因此，如何提高我国核电装备制造业及相关材料制造业的综合实力，加快核电装备国产化进程，形成我国在关键核装备上的自主知识产权，已成为我国政府和社会的普遍共识和我国核电快速发展亟需解决的课题。但由于其设计制造技术是一项复杂的综合技术，大型核电机组的成套技术国内还不成熟，特别是作为机组重要装备的齿轮传动装置还完全依赖进口，截至目前完全国产化的核电齿轮箱尚未投入运行，齿轮传动装置的研发是大型核电机组研发及立足国内制造的重要组成部分。图 1-5 所示为百万千瓦级核电循环泵立式行星齿轮箱。

图 1-5　百万千瓦级核电循环泵立式行星齿轮箱

（3）兆瓦级风电齿轮箱　近年来，我国的风电产业快速发展，2011 年我国（不含台湾地区）新增机组 11 409 台，全年新增装机容量 17 630.9MW，占全球新增装机容量的 43%，居世界第一位。截至 2011 年年底，我国累计安装风电机组 45 894 台，累计装机容量为 62 364.2MW，占全球累计装机容量的 26.2%，位于世界第一位。2011 年我国新安装机组平均功率达到 1 545.4kW，比 2010 年增长了 5.4%，截至 2011 年年底，我国累计安装风电机组的平均功率为 1 358.9kW。在 2011 年新装机组中，1.5MW 机组占 74%，2MW 机组由 2010 年的 11.4% 提高到 14.7%，2.5MW 及多兆瓦机组达到 3.5%，其中 2.5MW 机组 24 台，3MW 机组 123 台，3.6MW、5MW 和 6MW 机组各 1 台。

齿轮传动装置应用于风电机组的偏航系统、变桨系统以及双馈机组的增速传动中，是风电机组的核心部件，也是目前风电机组的薄弱环节之一。为了提高风能利用率和发电效益，风电机组正向着增大单机容量、减轻单位千瓦质量（提高功率密度）、提高转换效率和机组可靠性等方向发展，不论设计技术、制造技术及装备，还是运行维护等方面，均对偏航 / 变桨减速器、增速齿轮箱提出了越来越高的要求。我国的风电齿轮箱的设计开发仍处于起步阶段，缺乏运行调试经验，缺乏基础数据，缺乏对核心技术的掌握，这些因素都制约着我国风电事业的快速健康发展。图 1-6 所示为兆瓦级风电增速齿轮箱。

图 1-6　兆瓦级风电增速齿轮箱

1.5　高端齿轮产品长期依赖进口制约了我国战略性新兴产业的快速发展

近十年来，我国齿轮进出口逆差逐年扩大，2010 年逆差达到近 80 亿美元，进口额达到 106 亿美元，其中工业齿轮箱约占 40%，即高端工业齿轮箱进口额为 40 多亿美元。

目前，百万千瓦级核电机组、超临界 / 超超临界火电机组等大型能源装备用齿轮箱完全进口，2.0MW 以下风电增速箱尽管目前国内已批量生产，但几乎所有机型均来源于伦克(Renk)、弗兰德(Flender)、诺迈士(Romax)、艾罗迪(Aerodyn)、Orbital2 等外国公司的技术，大功率、高速度等高参数齿轮箱仍基本依赖进口。

传递功率为 6 000 ～ 12 000kW、转速为 5 000 ～ 6 650r/min、配备 600MW、1 000MW 超临界 / 超超临界火电机组锅炉给水泵机组的齿轮调速传动装置，目前完全从国外进口，国外主要生产厂家有德国福伊特（Voith）、日本荏原、日本日立等，其中德国福伊特的技术在世界上处于领先地位，最大传递功率可达 50 000kW，最高转速为 15 000r/min；日本荏原生产的最大功率为 20 000kW，最高转速为 13 000r/min；日本日立生产的最大功率为 22 000kW，最高转速为 12 000r/min，它们在世界上拥有一定的市场占有率。国内进口量每年约为 150 台，

累计进口量已超过 2 000 台。

目前，线速度在 150m/s 以上的超高速齿轮传动装置研究在欧美、俄罗斯、日本等发达国家已经达到相当高的水平，这些国家在这方面的投入也很大。我国对高速齿轮的设计、制造以及理论研究还多在 150m/s 及 30 000r/min 以内，150m/s 及 30 000r/min 以上的超高速齿轮传动装置的研发差距较大。我国在这方面的理论研究不够，缺乏可靠性方面的关键数据，严重影响了我们的产品更新换代，制造出来的产品体积较大，综合性能较差，关键的传动设备仍然依赖进口。如大型化肥厂使用的二氧化碳压缩机用 GN25 高速齿轮箱，每台进口价格达百万元人民币；再如大功率废气发电燃气轮机高速行星齿轮传动装置几乎完全依赖进口，每台价格超过 200 万元。我国每年进口高参数齿轮产品（特别是特大功率、较高线速度的齿轮箱产品）占总需求量的 80% 以上。

我国从 20 世纪 80 年代开始进行硬齿面齿轮技术研究及引进消化，取得了重大的技术进展，并先后进口了不少先进的齿轮制造设备。近年来，我国又先后从德国耐尔斯（NILES）、PFAUTER、霍夫勒（HOFLER）和美国格里森（GLEASON）等公司购进了一批数控成形磨齿机，齿轮的加工精度和生产效率均得到大幅度提高，齿部精度由 20 世纪 90 年代的 6 级提高到 4 级、3 级。但是，由于近十年来研究开发工作薄弱，技术水平没有明显提高，齿轮标准没有升级提高，缺乏研发和创新能力，缺乏行业信息沟通，企业间缺乏合作，生产管理水平跟不上，人才培养及技术提升不够，导致产品更新换代滞后，与国外产品相比没有竞争优势。可以说，从 1995 年开始，我国在大功率硬齿面高参数齿轮箱的产品领域就没有能与国外相抗衡的产品，致使我国的企业在与国外公司的竞争中经常失利。我国齿轮工业仍处于技术创新缓慢、产品技术落后的被动地位。

目前制约我国高参数齿轮装置取得突破进展的障碍主要在研发、产品质量控制、性能试验及评定等方面。我国许多齿轮生产厂只认识到自己制造能力的差距，购置了一批精度高、性能优良的齿轮和箱体加工设备，制造手段上了一个台阶，但仍改变不了重要产品依赖进口的局面。我国生产企业整体设计和研发能力薄弱，现有检测和整箱试验测试设备与加工设备不匹配，使我们花高价买回的加工设备不能很好地发挥作用，造成很大的资源浪费，严重制约我国高参数齿轮箱设计能力和制造水平的提高。

第 2 章

我国齿轮产业的发展现状

2.1 我国齿轮产业与战略性新兴产业的关系

战略性新兴产业是指建立在重大前沿科技突破基础上，代表未来科技和产业发展新方向，体现当今世界知识经济、循环经济，目前尚处于成长初期、未来发展潜力巨大，对社会经济具有全局带动和重大引领作用的产业。

2012年7月9日，国务院发布了《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》。在2012年7月6—7日召开的全国科技创新大会上，胡锦涛总书记强调，从现在起，到实现进入创新型国家行列的目标，只有不到10年的时间，任务十分艰巨。在总书记就深化科技体制改革、加快创新型国家建设提出的6点意见中明确指出要进一步提高自主创新能力，大力培育和发展战略性新兴产业。温家宝总理在2009年9月21—22日召开的战略性新兴产业发展座谈会上也强调，发展新兴战略性产业，是中国立足当前渡难关、着长远、上水平的重大战略选择，要以国际视野和战略思维来选择和发展新兴战略性产业。47名中科院院士和工程院院士、大学和科研院所教授、专家以及企业和行业协会负责人参加了此次会议。与会者就发展新能源、节能环保、电动汽车、新材料、新医药、生物育种和信息产业建言献策。2009年11月3日，温家宝总理在人民大会堂向首都科技界发表了题为《让科技引领中国可持续发展》的讲话，温总理强调，科学选择新兴战略性产业非常重要，选对了就能跨越发展，选错了将会贻误时机。我国发展新兴战略性产业，具备一定的比较优势和广阔的发展空间，完全可以有所作为。

1）要高度重视新能源产业发展，创新发展可再生能源技术、节能减排技术、清洁煤技术及核能技术，大力推进节能环保和资源循环利用，加快构建以低碳排放为特征的工业、建筑、交通体系，要努力走在全球新能源汽车发展的前列，尽快确定新能源汽车的技术路线和市场推进措施，推动中国汽车工业跨越发展。

2）要着力突破传感网、物联网关键技术，及早部署后IP时代相关技术研发，使信息网络产业成为推动产业升级、迈向信息社会的“发动机”。

3）要加快微电子和光电子材料和器件、新型功能材料、高性能结构材料、纳米技术和材料等领域的科技攻关，尽快形成具有世界先进水平的新材料与智能绿色制造体系。

4）要运用生命科学推动农业和医药产业发展，积极发展转基因育种技术，努力提高农产品的产量和质量，突破创新药物和基本医疗器械关键核心技术，形成以创新药物研发和先进医疗设备制造为龙头的医药研发产业链条。

5）要大胆探索空间、海洋和地球深部，实施好载人航天计划和嫦娥计划，有效进入并和平利用空间，切实加强海岸带可持续发展研究，促进海洋资源合理开发和海洋产业发展，努力提高地球深部资源探测水平，充分挖掘和利用好各种资源。

温家宝说，要更加重视基础研究和战略高技术研究。原始创新是一个国家竞争力的源泉。我国要抢占未来经济科技发展的制高点，就不能总是跟踪模仿别人，也不能坐等技术转移，必须依靠自己的力量拿出原创成果。

2010 年 9 月 8 日，国务院常务会议审议并原则通过《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》。该会议指出，加快培育和发展以重大技术突破、重大发展需求为基础的战略性新兴产业，对于推进产业结构升级和经济发展方式转变，提升我国自主发展能力和国际竞争力，促进经济社会可持续发展，具有重要意义。必须坚持发挥市场基础性作用与政府引导推动相结合，科技创新与实现产业化相结合，深化体制改革，以企业为主体，推进产学研结合，把战略性新兴产业培育成为国民经济的先导产业和支柱产业。该会议确定了战略性新兴产业发展的重点方向、主要任务和扶持政策。一是从我国国情和科技、产业基础出发，现阶段选择节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车七个产业，在重点领域集中力量，加快推进。二是强化科技创新，提升产业核心竞争力，加强产业关键核心技术和前沿技术研究，强化企业技术创新能力建设，加强高技能人才队伍建设和知识产权的创造、运用、保护、管理，实施重大产业创新发展工程，建设产业创新支撑体系，推进重大科技成果产业化和产业集聚发展。三是积极培育市场，营造良好市场环境，组织实施重大应用示范工程，支持市场拓展和商业模式创新，建立行业标准和重要产品技术标准体系，完善市场准入制度。四是深化国际合作，多层次、多渠道、多方式推进国际科技合作与交流，引导外资投向战略性新兴产业，支持有条件的企业开展境外投资，提高国际投融资合作的质量和水平，积极支持战略性新兴产业领域的重点产品、技术和服务，开拓国际市场。五是加大财税金融等政策扶持力度，引导和鼓励社会资金投入，设立战略性新兴产业发展专项资金，建立稳定的财政投入增长机制，制定完善促进战略性新兴产业发展的税收支持政策，鼓励金融机构加大信贷支持，

发挥多层次资本市场的融资功能，大力发展创业投资和股权投资基金。该会议强调，加快培育和发展战略性新兴产业是我国新时期社会经济发展的重大战略任务。要加强组织领导和统筹协调，编制国家战略性新兴产业发展规划，制定产业发展指导目录，优化区域布局，形成各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业协调发展格局。

“十二五”时期正值世界经济进入后金融危机时代，是世界经济格局发生深刻变化而又充满变数的时代。调整全球产业结构，重建世界经济新秩序成为全球经济发展的必然趋势。各国政府纷纷加大科技创新力度，大力推进战略性新兴产业发展，以赢得未来经济的主导权。根据我国经济社会发展的重大需求，我国《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出了七大战略性新兴产业的重点发展方向和主要任务。

1）节能环保产业要突破能源高效与梯次利用、污染物防治与安全处置、资源回收与循环利用等核心关键技术，发展高效节能、先进环保和资源循环利用的新装备和新技术，推行清洁生产和低碳技术，加快形成支柱产业。

2）新一代信息技术产业要加快建设下一代信息网络，突破超高速光纤与无线通信、先进半导体和新型显示等新一代信息技术，增强国际竞争力。

3）生物产业要面向人民健康、农业发展、资源环境保护等重大需求，强化生物资源利用等共性关键技术和工艺装备开发，加快构建现代生物产业体系。

4）高端装备制造业要大力发展现代航空装备、卫星及应用产业，提升先进轨道交通装备发展水平，加快发展海洋工程装备，做大做强智能制造装备，促进制造业智能化、精密化、绿色化发展。

5）新能源产业要发展技术成熟的核电、风电、太阳能光伏和光热利用、生物质发电、沼气等，积极推进可再生能源技术产业化。

6）新材料产业要大力发展新型功能材料、先进结构材料和复合材料，开展共性基础材料研究和产业化，建立认定和统计体系，引导材料工业结构调整。

7）新能源汽车产业要加快高性能动力电池、电机等关键零部件和材料核心技术研发及推广应用，形成产业体系。

毋庸置疑，制造业仍是世界经济增长的基本因素和我国战略性新兴产业发展的核心。21 世纪前十年，全球制造业第一次大分工，我国成为了世界工厂。我国钢铁、汽车、船舶、机床、建材、煤炭及水泥等位居世界前列，成为世界制造大国。21 世纪第二个十年，伴随世界经济的复苏与世界经济格局的深刻变化，

全球制造业悄然进入第二次大分工。这次大分工将以“五化”为发展趋势：全球化、信息化、专业化、绿色化和服务化，争夺焦点是掌握产业核心技术，占据产业价值链高端，主导产业未来发展方向。因此，“十二五”规划的五年将是我国制造业由大变强极其宝贵而关键的战略机遇期。在此期间，我国将由工业化中期步入工业化后期。

其显著特点是成本优势将逐步受到挑战，技术优势潜力巨大，研发和科技投入的边际效益升高，资本密集和技术密集型产业面临快速发展机遇。随着成本优势丧失，技术优势及时替代成本优势并占据主导，工业具备明显的实质性国际竞争力，国家经济实现真正崛起。

以齿轮为代表的基础零部件不仅是我国装备制造业的基础性产业，也是国民经济建设各领域的重要基础。其产业关联度高、吸纳就业强和技术资金密集，是各类主机行业产业升级、技术进步的重要保障，是我国发展战略性新兴产业的重要支撑，是我国从制造大国向制造强国转变的标志性产业。

国际市场：“十二五”期间，制约全球经济发展的不确定因素增加，受贸易保护主义重新抬头、人民币升值压力及出口汇率风险加大、发达国家消费水平下降和“再工业化”方针以及周边发展中国家制造业竞争力增强等因素的影响，出口竞争加剧。我国在保持部分成本优势的同时，必须靠技术进步、质量提升和产品性价比等新的优势扩大出口。从总体上看，我国齿轮行业出口将呈起伏式增长态势，预计“十二五”期间年平均出口增长率为 8% 左右，到 2015 年全行业出口总额将达到约 50 亿美元。

国内市场：“十二五”期间，国家将继续采取刺激消费、调整结构、拉动内需和鼓励自主创新与产业升级等一系列强有力政策，深化十大产业调整与振兴规划，汽车、农机、高铁、冶金、电力、船舶、环保、工程机械和基本建设等将继续保持较好的增长态势，这将为齿轮行业带来广阔的市场发展空间。

（1）汽车　我国有 13 亿人口，又是全球最大的发展中国家，总体讲我国汽车产业在“十二五”期间将继续保持快速健康发展，且将进入从国家支柱产业向国家战略产业转移的重要时期。汽车产业发展的主要有利因素有：“十二五”末我国城市化率将超过 50%，快速的城市化建设必将使公共交通更加便捷，节能环保的大中型公交客车将持续增长。与此同时，轿车进入普通家庭，特别是小排量紧凑型乘用车将进入快速增长期；村村通公路将为汽车业带来持久多层级的汽车需求；消费结构升级与快捷发达的物流使旅游客车和长途运输车辆保持稳定

增长；铁路、公路、机场、桥梁和大型工程等的开工建设，必将拉动工程车和自卸车的增长；机场摆渡、环卫清洁、除雪清障、港口运输、消防救护、特种运输等专门用途的车辆将会进入快速增长期。

我国汽车市场将在“十二五”期间步入成熟期，乘用、商用、专用及重、中、轻、微型车辆结构将趋于合理，预计汽车产业将以 10% ～ 15% 的增速健康发展，到“十二五”末我国汽车年产销量将双双突破 3 000 万辆。“十二五”期间，我国汽车自动变速器平均增速将明显快于整车的平均增速，年均增长率约为 25%。到 2015 年末，汽车自动变速器的市场份额将超过 40%，届时年需求量将超过 1 000 万台。因此“十二五”期间，国家将用更大力度鼓励汽车零部件回收再制造产业有序健康发展，我国汽车变速器、取力器等总成产品的回收再制造具有巨大潜力。

快速发展的汽车工业为我国齿轮行业自主品牌的发展创造了千载难逢的机遇。这是因为这一阶段市场将向二三线城市转移，市场向二三线城市转移的过程正是自主品牌市场占有率快速增长的过程，这为自主品牌提供了巨大的国内市场发展空间。汽车强国的发展历程证明，国内大市场将对本国汽车出口起到强有力的支撑作用。我国已是新车产销量世界第一大国，又是世界人口第一大国，这决定了我国未来的汽车市场是世界独一无二的超大型市场，大容量的国内市场为整车出口提供了规模实力，且我国整车出口具有性价比优势，正切合发展中国家的购买力，发展中国家的人口占世界总人口的 80%，具有长久的市场发展空间。因此，我国整车出口是未来市场的增长点，这为自主品牌的发展提供了广阔的国际市场空间。新能源汽车的发展为自主品牌实现创新超越提供了战略性历史发展机遇。因为国内外实践已经证明，真正的核心技术是用市场换不来的，也是用金钱买不来的，只能靠自主创新。如果我国在节能环保与新能源汽车关键技术即电池、电机、电控、自动变速器等关键零部件取得突破，且有完善的配套设施，则我国汽车产业不仅还能保持 10 年快速增长，而且能借此实现由大变强的跨越。

（2）风电　国内市场对兆瓦级风力发电机组的需求十分迫切。截至 2011 年年底，我国已累计安装风电机组 45 894 台，累计装机容量 62 364.2MW，实现并网约 50 000MW。2020 年之前，我国平均每年至少装机约 190 万 kW，机组将从 2MW 提升到 3.6MW 及 5MW 水平，风电齿轮箱产值约 120 亿元。近海风电场建设已列入国家可再生能源规划，预计到 2020 年，我国海上风电将达到 100 万 kW。

（3）核电　根据国家核电中长期规划，到 2020 年，我国将开工建设 40 座以上百万千瓦级的核电机组，届时核电总规模相当于目前的 20 个大亚湾核电站。核电站回路所需要的循环水泵齿轮箱约为 400 台，每年的配套量都在 1.5 亿元以上。

（4）农机　“十二五”期间，农机总产值将达到 2 500 亿元，出口贸易额约 90 亿元。

（5）工程机械　“十二五”期间，工程机械社会保有量将达约 600 万台。

（6）高铁　“十二五”期间，高速铁路客运专线和城际轨道交通铺轨里程将快速增长，预计年基建投资高达 3 000 亿～ 4 000 亿元，年需求高铁齿轮箱近 8 亿元。

（7）煤机　我国煤炭产量约占世界总产量的 42%，产量增量占世界总增量的 80% 以上。据预测，到 2020 年，我国煤炭需求将达到 38 亿 t 左右，“十二五”期间自主品牌的大功率、高可靠性的采煤机齿轮减速箱具有广阔的市场前景。

综上所述，“十二五”期间我国齿轮行业面临调整振兴、由大变强的历史发展机遇，国内外市场竞争加剧，国内深层次矛盾不可避免地会影响行业前进步伐，但推动行业技术进步创新发展的基本力量不可逆转，全行业在转型升级的进程中将以年均 10% 左右的增速实现稳定发展。

除了依托于其他产业的蓬勃发展以外，我国的齿轮产业将专注于技术创新并积极开展国际合作。高精度、高速度、大转矩、小尺寸、低噪声、高性能、高可靠性及长寿命将成为未来几年内重要的研究课题，目前正在计划集行业之力成立技术研发中心和关键技术创新实验室，为未来的技术创新积蓄力量。

2.2　我国齿轮产业的发展概况

新中国成立后，当时基本上没有生产齿轮的能力，经过第一、第二个五年计划的努力，我国初步形成了包括汽车、机床、重型机械、电站设备、石油化工与通用设备等机械制造能力，同时齿轮制造业也随之发展起来。到 1963 年前后，我国不仅已能成批生产齿轮，而且一般规格的齿轮机床与刀具、量仪也能由国内制造。后来国家新建和改建了一大批齿轮与齿轮箱的专业工厂与专业车间，进一步扩大了齿轮配套的生产能力，到 20 世纪 80 年代，已基本上形成了我国齿轮制造工业的完整体系。

圆柱齿轮在机械产品中应用广泛，品种、规格繁多。长期以来，在齿形上

以采用渐开线齿形为主。在一般设计中较多采用中碳钢（或中碳合金钢）调质处理的齿轮（也称软齿面齿轮），很少采用低碳合金钢经渗碳淬火处理的齿轮（也称硬齿面齿轮）。在工艺上，对于如汽车、拖拉机工业中大批生产的中、小模数齿轮，通常采用滚（插）齿—剃（挤）齿—热处理—珩齿工艺；对于冶金、矿山、起重运输等机械中所用的大、中模数齿轮，一般采用调质处理—滚齿工艺；对于电站、石油化工、冶金、船用等机械中的高速齿轮多数采用调质处理—滚齿—剃齿工艺。近年来，滚齿—渗碳—淬火处理—磨齿工艺逐渐发展并成熟起来。

20 世纪 50 年代末，针对当时渐开线齿轮齿面接触强度差、工艺水平低、质量差的薄弱环节，我国从当时的苏联引进了圆弧齿轮，利用轴向共轭代替端面共轭及圆弧齿轮齿面接触强度比较高的特点，代替了不少机械产品中的渐开线齿轮。20 世纪 70 年代末，在一系列高速与低速传动中成功应用单圆弧齿轮的基础上，采用双圆弧齿轮代替单圆弧齿轮，使其弯曲强度提高了 40% ～ 60%，应用范围得到了进一步扩大。

20 世纪 70 年代以来，各工业发达国家随着机械产品功率与参数的提高，对齿轮结构尺寸、性能与可靠性的要求也有所提高，硬齿面齿轮技术得到日益发展。目前正在对硬齿面齿轮的设计、工艺、材料热处理、试验等进行一系列研究。我国已经研制出一批较高设计参数的硬齿面齿轮，如应用于压缩机与轧机的齿轮功率为 3 000 ～ 4 500kW，圆周速度为 140 ～ 152m/s，负荷系数为 180 ～ 310N/cm^2，精度等级为 4 ～ 5 级，已能成批制造用于加工硬齿面的超硬刀具，国产新系列滚齿机已能满足加工硬齿面齿轮的需要。

为了进一步提高齿轮的精度水平，工厂普遍提高了对齿轮量仪的要求。目前对于中等尺寸以下的中小模数齿轮，各种量仪已基本配套，大模数齿轮上置式齿距测量仪已研制出来。1968 年我国首创了齿轮整体误差测量理论和方法，1970 年运用这一方法研制出了截面整体误差测量仪，从而将我国齿轮测量技术发展到动态综合测量的新阶段。

近年来，结合贯彻齿轮精度标准，广泛开展了基础工艺技术的研究试验，如精滚工艺试验、确定经济工艺的技术条件和精度等级，修磨剃齿刀齿形获得齿轮理想接触区试验，改变刀具材料实现硬齿面剃齿的试验，采用负变位剃齿刀消除齿面中凹试验。改变珩轮结构和材料，提高齿面精整质量；磨齿修缘与齿向修形的试验等，都大大促进了齿轮精度水平的提高。

汽车、拖拉机、矿山及运输设备等所用的弧齿锥齿轮，大多采用美国格里森制。这种齿轮生产批量大，但因切齿计算与调整复杂，生产上难以获得理想的轮齿接触区，制造质量差，使用寿命不高。20 世纪 70 年代以来，在引进国外加工设备与整套电算程序基础上，开展对弧齿锥齿轮啮合理论的研究，消化掌握其程序软件，在生产上已取得成效。

在要求单级减速比大、传递转矩大的相交轴齿轮传动中，大多采用蜗杆副，一般设计为轴向直廓的圆柱蜗杆副。多数用在传递运动的机床上和功率不大的动力传动中，为改善齿面润滑条件以提高承载性能，发展了一种圆弧圆柱蜗杆副。与此同时，针对大中型重载传动，还发展了直廓环面蜗杆副与平面包络环面蜗杆副，这些蜗杆减速器均由工厂成批生产。另外，各种行星式传动发展迅速，有低速行星齿轮减速器、高速行星齿轮箱，还有摆线针轮减速器、各种少齿差减速器与谐波齿轮减速器等。目前我国每年生产各种齿轮减速器已达十多万台。

我国越来越多的技术人员掌握了齿轮啮合原理的分析方法，对复杂曲面的几何计算还提供了各种计算方法，一般能从啮合理论的观点，分析计算各种齿轮的参数，因而提高了我国的齿轮设计制造水平。我国在齿轮材料、热处理技术、齿轮试验技术与测试方法等方面也积累了不少的经验。综上所述，我国齿轮生产已达相当规模，设计与工艺水平不断提高，有一批齿轮产品已经接近或达到国际水平，但总体来说还存在一定差距，需要我们共同努力，狠抓薄弱环节，才能有更大的进展。

改革开放 30 多年来，我国齿轮行业伴随着国民经济的快速发展取得了长足进步，产品门类齐全，广泛应用于航空船舶、兵器装备、汽摩农机、机床工具、工程机械、轨道交通、水泥建筑、起重运输、矿山冶金、电力能源、石油化工和仪器仪表等 20 多个领域，形成了独立完整的工业体系，行业骨干企业初步具备了全新产品开发能力，为振兴装备制造业作出了重要贡献。

齿轮行业现状可用“一二三四六千”概述。“一”即一个异军突起。经过 20 多年的发展，齿轮行业民营企业异军突起，民营企业的数量、对就业的贡献、资产总额、盈利能力和创新活力等都超过了国有、外资及合资企业，其市场地位和行业作用越来越重要，且发展潜力巨大。“二”即两个 62%。我国齿轮行业三大市场（车辆齿轮、工业通用齿轮、工业专用齿轮）中，车辆齿轮占齿轮市场总额的 62%，汽车齿轮又占车辆齿轮的 62%，即汽车齿轮占整个齿轮市场近 40% 的份额，汽车产业是齿轮行业最重要的下游产业。“三”即 2010 年我国齿轮市场

规模达到了 1 450 亿元，成为世界第三大齿轮制造国。“四”即行业有四低。产业集中度低（车辆齿轮 CR8 不到 22%，工业通用齿轮和工业专用齿轮 CR8 也仅为 38% 和 32%）、专利产品数量低、高技术含量高附加值产品数量低、企业技术研发投入低。“六”即改革开放以来，通过市场选择和竞争，行业形成了华东、华北、西南、华中、西北、东北六大齿轮主产区，华东地区占了全行业半壁江山。“千”即我国齿轮行业已进入了年销售额以千亿元级为基数的中大型制造行业（2011 年全行业市场规模达 1 780 亿元）。

齿轮及齿轮产品是机械装备的重要基础件，绝大部分机械成套设备的主要传动部件都是齿轮。我国齿轮工业在“十一五”期间得到了快速发展：2010 年齿轮行业的年销售额由 2005 年的 550 亿元增加到 1 450 亿元，已成为我国机械基础件中规模最大的行业。就市场需求与生产规模而言，居世界第三位。2011 年全行业销售额达到 1 780 亿元，增长率为 22.8%；进口 124.9 亿美元，增长率为 17.7%；出口 38.4 亿美元，增长率为 38.4%。2007—2010 年，齿轮、传动及驱动部件利润总额的四年平均增速达到 39%，高于工业四年平均增速 24.8%。

现阶段齿轮行业应通过市场竞争与整合，提高行业集中度，形成一批拥有几十亿元、5 亿元、1 亿元资产的大、中、小规模企业；通过自主知识产权产品设计开发，形成一批龙头企业，用龙头企业的配套能力整合齿轮行业的资源，实现专业化、网络化配套，形成大批有特色工艺、特色产品和快速反应能力的名牌企业；通过技改，实现现代化齿轮制造企业的转型。

“十一五”末期，我国齿轮制造业年销售额达到 1450 亿元，人均销售额上升到 65 万元 / 年，在世界行业排名中位居第三。2006 — 2010 年新增设备 10 万台，即每年用于新增设备投资约 60 亿元，新购机床 2 万台，每台平均单价为 30 万元。到 2010 年，我国齿轮制造业有各类机床总数约 40 万台，其中数控机床为 10 万台，数控化率为 25%（高于机械制造全行业平均值的 17%）。

我国齿轮传动行业在“十一五”期间得到了快速发展，根据国家统计局公布的数据，2005—2010 年我国齿轮行业的工业总产值逐年增加，且同比增幅均在 20% 以上。由于经济危机等客观因素影响，齿轮行业的增长速度相对变慢，但是总产值仍旧保持大幅增长。

2010 年整个齿轮产业实现工业总产值 946.35 亿元，齿轮全行业市场需求超过 1 400 亿元，世界排名第二。从规模和销售额等各方面因素来看，齿轮产业已然成为我国机械通用零部件领域的“领军”级行业。我国已经成为名副其实的世

界齿轮制造大国。

在过去的十年中，车辆和工业用齿轮保持了持续稳步增长。其中，车辆齿轮在销售额中占有非常大的比重，达到62%，而工业用齿轮也达到了35%，两类产品所占份额超过90%。

从进出口的情况来看，我国齿轮行业总体情况是有进有出，但不容乐观的是，进口远多于出口。2009年我国共进口各类齿轮产品72.6亿美元，出口17.14亿美元，逆差额达到55.46亿美元。2010年，我国共进口各类齿轮产品106.1亿美元，增长27%，出口27.2亿美元，增长49%。虽然出口的增长稍大于进口的增长，但是由于进口基数的庞大，逆差还是高达将近80亿美元。由此可以判断，我国齿轮行业存在严重逆差，出口能力还有非常大的提升空间。

对于整个齿轮产业来说，实现了三大调整：一是布局调整，即从低端化向高端化发展，低端、高端合理配置，实现合理布局；二是结构调整，即建立合理的、现代化的产业结构；三是发展调整，即开始抛弃以往以数量大、价格低取胜的粗放型发展方式，逐步提升产品的质量、寿命、外观，增加其技术含量，提高产品附加值，实现高效率集约式发展。

“十一五”期间，齿轮行业的成绩不容小觑，但是在政府政策支持和整个装备制造业大发展的依托下，未来五年内，齿轮行业的发展将更加引人注目。

2011年7月，工业和信息化部装备工业司公布了《中国机械通用零部件行业“十二五”发展规划》，对齿轮产业做出了明确规划：未来五年内，齿轮市场的分布情况是：汽车齿轮约占40%，其他车辆齿轮约占25%，工业齿轮占35%；其中，出口约占15%。预计“十二五”期间，齿轮产品的出口增长率约为10%，预计2015年，齿轮产品的出口将达到约50亿美元。

综合考虑全球制造业“五化”的发展趋势、我国工业化发展进程和齿轮行业现状，齿轮行业“十二五”发展战略与指导思想是：

1）发展战略。学习中追赶，创新中超越。开放学习，整合全球资源，缩短与发达国家的差距；合作共赢，靠自主创新超越，掌握产业核心技术，向产业价值链高端转移。

2）指导思想。坚持科学发展观，促进信息化与工业化融合。以市场为导向，以企业为主体，产学研相结合，夯实产业基础，优化产业结构，着力自主创新，实现从规模增长型向质量效益型转变，保持齿轮行业可持续健康发展。

我国齿轮行业“十二五”发展目标：解决共性，攻克关键，扭转高端齿轮传

动装置及其零部件依赖进口的局面。培育行业可持续创新能力，提升行业国际竞争综合实力，为跻身世界齿轮强国奠定基础。

1)突破和掌握可持续发展领域核心技术,提升前端研发能力和高端制造能力，自主品牌汽车自动变速器实现产业化，时速 200km/h 的动车与 5MW 的风电齿轮传动装置实现自主化；重大装备零部件自主化率达到 85%，重大装备关键零部件自主化率达到 70%；行业平均研发投入占销售收入的比重提高到 1.2%，新产品产值占工业总产值的比重提高到 35%。

2）优化产业结构，提升行业整体竞争实力，培育 3 ～ 5 个内资主导的国际化程度较高的具有国际竞争力的跨国企业集团和世界知名品牌；构建 5 个年销售规模超过 50 亿元的齿轮制造基地；打造 2 个年销售规模超过 200 亿元的产业集群；形成 20 个参与国际分工的“专、精、特”专业化零部件制造企业；产业集中度提高 10%。

3）转变增长方式，提升产品质量，向产业价值链高端转移，原材料利用率提高 5% ～ 10%；单位增加值能耗降低 15%；重大装备齿轮传动装置质量水平满足主机要求，行业骨干企业质量水平达到同类产品国际先进水平；现代服务业销售额占比提高 15%。

4）产业规模、市场份额稳定增长，“十二五”期间年均增长率约为 10%；国内市场占有率提高到 85%；2015 年全行业销售规模国内市场达到 2 940 亿元，出口额达到 50 亿美元。

5）构建行业创新体系，打造三支人才队伍。行业技术中心 1 家；国家工程实验室 2 家，工程技术中心 3 家，产品检测中心 5 家；国家认定的企业技术中心 8 家。骨干企业高层管理人员工商管理培训面达到 95% 以上，中层管理人员工商管理培训面达到 60% 以上；工程硕士培训面达到 10%；“十二五”期间向行业输送高素质现代职业技术工人 500 名。

针对上述目标，“十二五”期间我国齿轮行业要实施以下六大工程：

一是产品突破工程。围绕国务院颁发的九大产业重点项目和十大领域重点工程，针对制约主机、行业发展的瓶颈，抓好重点产品及其关键技术的突破。

主要任务如下：

1）满足节能环保汽车动力总成需要的自动变速器（AMT、DCT、EMCVT、HNCVT、6 ～ 8AT）及其关键零部件（行星排、金属带、锥轮锥盘、变矩器）实现产业化，打造电控软硬件单元（TCU）及其核心元器件（电磁阀、传感器、电动机、

执行机构）的完整产业链。

2）抗疲劳制造、长寿命关键基础件课题研究及其产品应用（无应力集中制造与装配、结构减重、表面改性和润滑防护）。

重点产品包括：大功率风电齿轮箱、火电立磨减速机、核电循环水泵齿轮箱、大功率采煤和掘进机齿轮传动装置、污水处理装置用高速齿轮箱、船用高速齿轮箱、高速列车齿轮传动装置、大型自走式收获机械与大型拖拉机驱动桥箱总成、宽板轧机齿轮箱、大型矿用自卸车及大型露天矿挖掘机用液力变速器等。

实施措施为：构建产业共性技术战略创新联盟，把企业资源、国家资源引导到行业关键共性技术创新上来，形成共同申报、多方签约、联合验收的新型创新机制，打造灵活、实用、长效、开放、共赢的行业创新体系。

二是产业结构调整工程。培育大集团、小巨人和产业集聚区。扶持江苏汽车、农机、工业和工程机械齿轮，重庆汽摩、风电、船舶和轨道交通齿轮等产业集群，支持陕西西安、江苏南京、辽宁大连、浙江、天津等地区建成特大型、大型齿轮传动装置及齿轮、同步器和行星传动等专业化、规模化高水平零部件制造基地（即大型企业集团与专精特中小企业有机联系优势互补的制造基地和现代产业体系）。

实施措施为：利用各级政府政策，支持优势企业兼并重组，打造具有国际竞争力的大型企业集团；按产品链、工艺链培育产业链条，提高整个行业的运行效率；打造现代、有技术内涵的产业聚集区，使其具备现代制造服务功能，为本地区乃至全行业提供研发支持。

三是平台建设工程。即“两个中心一个基地一个平台”。

1）依托专业科研机构，建设行业共性基础技术研发中心。向全行业提供产品研发、工程化样机制造、产品检测和试验等服务。实施措施为：在五年内用市场化手段和国家政策支持健全行业归口研究机构。

2）建设行业公共资源与公共服务共享中心。提供行业信息咨询、技术与贸易、统计分析、维权与调解等多功能服务。实施措施为：把各成员企业，特别是骨干企业的技术中心建成行业信息中心的有效终端，充分发挥行业协会、行业平台等信息中枢的作用，集成灵敏、畅通、准确、及时、完整、权威的公共资源与公共服务共享中心。

3）建设行业人力资源培训基地。培养行业产业升级需要的高技能现代工人队伍、高水平复合型工程技术队伍和高素质、高层次管理队伍。实施措施为：充分发挥行业公共平台、骨干企业及高等院校等多方面的优势，针对行业人才需求，

联合办学、办班，打造具有行业特色、深受行业欢迎和社会拥护的人力资源培训基地。

4）培育自主品牌贸易平台。会展是未来市场竞争的前沿，是集中展示企业创新成果、独到技术、特色产品和企业文化与风采的重要场所，是国内外技术交流与贸易洽谈的重要场所，培育具有行业特色和国际影响力的会展贸易平台是齿轮行业“十二五”期间的重要任务之一。实施措施为：在国家相关部委的支持下，凝聚全行业力量，发挥行业骨干企业的带动作用，展开上下游产业链合作，展开与相关协会、会展组织等的多方合作，扎实推进齿轮行业会展贸易平台建设。

四是标准化工程。产品标准的竞争是最高层次的竞争，实施标准化工程是占领产业价值链高端的重要手段。一是制订、修订制约行业发展的关键产品、核心技术的标准，用标准打破垄断，规范市场并引领行业发展；二是宣传贯彻以人为本的先进管理标准，如涉及员工职业健康、安全、环保的标准。实施措施为：在齿轮标准化委员会、行业协会等的组织下，充分发挥骨干企业在行业标准制订、修订中的作用，积极推进国内外技术交流，鼓励企业参加国际标准化组织活动，加强学会、协会与国际标准化组织的合作，努力争取国际标准制订的话语权，力争参与国际标准制订、修订零的突破。

五是技术改造工程。结合行业特点发展产业低碳经济，支持围绕提高产品质量、提高效率、有利于节能减排的技术改造。

1）节能环保干切技术和装备。

2）高速、高精滚齿、剃齿和强力珩齿技术。

3）轮齿表面改性技术。

4）在线检测和无损检测技术。

5）新产品开发试验与性能评价技术。

6）智能化、网络化热处理技术和真空洁净热处理技术。

7）产品轻量化工艺与装备成套技术。

8）少无切削精净成形加工技术等。

实施措施为：用好国家政策和企业自身资源，抓好成套性、系统性和示范性，以点带面逐步推广。

六是质量提升工程。经过多年的质量教育和激烈的市场竞争，行业绝大多数企业都具备了“质量是企业生命，质量是员工饭碗”的质量意识。近年来行业产

品整体质量水平有所提高，部分企业一些产品的实物质量已达到国际先进水平。但总体看，在产品寿命、稳定性、可靠性、一致性和总成产品噪声、密封性、初期故障率和首次平均故障工作时间（里程）等方面与国外同类产品相比还存在较大差距，形势不容乐观。进入全球化市场竞争的今天，产品质量不仅关系一个企业的生存和发展，更关系整个行业和国家的声誉与形象，质量既是技术管理问题，也是政治经济问题。真正有价值有影响力的知名品牌是靠质量来塑造的，质量是品牌的核心价值。只有做好质量，才能做大市场份额，产品在市场中的保有量大了，才具有做品牌的市场基础。随着产品市场保有量的不断扩大，品牌的影响力就能逐步培育起来。因此，在“十二五”期间，全面提升行业产品质量，对增强行业与企业国际国内市场竞争能力、扩大市场占有率、转变经济增长方式和实现产业升级等都具有极其重要的现实意义和深远的历史意义。行业优秀的企业家们要有立民族之志创世界名牌的气魄、胸怀和时代责任感，带领员工持之以恒地实施培育世界品牌的长远战略。再通过 5 ～ 10 年的不懈努力，产品市场占有率高、市场声誉好的优秀企业中就一定能诞生世界知名品牌。为此，全行业应着力在以下四方面狠下工夫：

1）继续深入开展以用户需求为关注焦点的全面、全员、全过程质量管理宣传和教育培训，广泛开展 QC 小组活动，靠规范员工质量行为、提高员工操作技能和充分发挥员工主观能动性稳定提高产品质量。

2）围绕产品质量问题，有针对性地进行技术改造和人才培养，靠技术进步、技术攻关和全方位创新提高产品质量。

3）建立健全质量管理体系，结合企业实际，大力推广“卓越绩效模式”“精益生产管理”“六西格玛管理”等国际先进管理技术和方法，用现代质量管理思想和工具提高产品质量。

4）树立质量制胜理念，树立全员品牌意识，树立全球竞争意识，建设有特色的企业质量文化。竞争的最高层次是企业家思想与企业文化的竞争。

实施措施为：

1）多种形式宣传行业优秀质量典范，反映企业产品质量水平、企业家及其管理团队质量思想、企业社会形象和企业市场声誉，营造质量强国、品牌兴业的行业文化氛围，引导企业以品牌、标准、服务和效益为重点，鼓励为用户创造长远价值的质量竞争与价值竞争。

2）大力推动和支持行业质量共性技术攻关，为开发品种和提升质量提供科

技支撑。

3）探索并建立以强化企业社会责任、依法经营、诚实守信、市场准入为中心的行业协商机制和自律体系。

4）开展多层次行业质量培训，健全企业质量管理体系，提升员工素质和企业质量管理水平。

5）鼓励骨干企业制订先进的技术质量标准，用标准规范市场，用标准提升产品质量，用标准引领行业发展。

在此提出如下一些政策建议：

1）重建行业共性基础技术研发中心。建议整合行业资源，以原有的归口院所为基础，依托大型企业技术中心，组建行业共性基础技术研发中心。政府给予贷款贴息、无偿支助或建设经费投入等支持，企业自愿投资入股，进行行业共性技术研发，形成成果共享机制，并按市场化原则向全行业企业提供技术服务。

2）支持积极构建以市场为导向、以企业为主体、产学研相结合的产业技术创新战略联盟，集中优势力量攻克阶段性行业关键共性技术和难题。科研阶段，国家科技部给予创新联盟立项课题研发经费支持；产业化阶段，经联盟验收鉴定合格具备产业化水平的产品，经国家相关部门审核、发布、公示后，三年内国家给予公告产品减征增值税和所得税，并给予公告产品企业产业化技改投入银行贷款贴息、进口设备减免进口关税支持。同时给予采用我国自主高端齿轮品牌的主机厂，以研发费用补贴的名义进行资助，降低主机厂使用自主品牌的风险，大大增强主机厂选用自主品牌产品的积极性。获得研发补贴的主机企业，应在规定的时间内使用相应数量的自主品牌产品，并以此为验收标准。此外，以高于正常出口产品 5% 的出口退税率支持公告内产品出口企业。

3）中央和地方设立“战略性新兴产业关键基础件创新基金”，加大对齿轮行业国家级和省级企业技术中心资金支持力度。

2.3 我国齿轮行业存在的主要问题

最近 20 年来我国齿轮行业发展迅猛，已经形成了完整的齿轮制造体系，中低端齿轮产品已达到或接近国际先进水平，高端产品与国际先进水平存在明显差距。如：汽车自动变速器仍基本依赖进口，进口额约占整个齿轮产品进口额的 50%；高速重载齿轮箱产品尽管国内基本具备了为大型成套设备配套的能力，但

中高端、特别是高端产品仍依赖进口；真正具备多兆瓦级风电增速箱生产能力的企业较少，在核心技术的掌握、产品运行可靠性等方面与国外一流产品相比还有较大差距；大部分国产齿轮加工和试验装备的性能和可靠性等指标与国际先进水平差距明显，致使齿轮行业大部分的主导精加工装备仍以进口为主。

总体上讲，我国齿轮产品正经历从低端向中端的转变，已经出现少量的高端产品。但是我国齿轮行业还不能满足重点行业和重点工程的配套要求，如核电、高速机车、大型船舶、大型工程机械、钻井平台等。这些齿轮及齿轮箱的制造已经成为制约我国一部分重大装备研制的瓶颈问题。

这些问题长期得不到解决的原因是多方面的，譬如齿轮行业还存在如下一些壁垒：

1）资金壁垒。齿轮行业属于资本密集型行业，齿轮产品制造工艺复杂、制造精度要求高，生产设备的投资较大；产品更新换代的速度快，需要大量的研发资金投入；产品生产周期与安装、调试周期长，生产过程需要较多的流动资金。因此，齿轮行业的生产与销售需要较高的初始成本和维持成本，进入该行业具有较高的资金壁垒。

2）技术壁垒。齿轮行业属于技术密集型行业，随着装备制造业的快速发展，对齿轮产品的性能和工艺要求日益提高。齿轮企业必须拥有较强的技术力量和技术储备，才能不断开发新技术、新产品和新工艺，以满足市场要求。新进入的企业，特别是小微企业往往严重依赖外界的技术和人才，缺乏产品创新能力和生产经营的自主性。

3）品牌壁垒。品牌是影响产品市场占有率的重要因素，齿轮产品是成套设备配套的重要基础件，产品质量直接影响主机的正常运转，可靠性要求高，齿轮产品价格高，而且安装、维护与拆卸难度大，更换的成本较高，因此产品质量和服务质量十分重要。品牌一旦建立就形成企业重要的竞争力。而品牌的建立需要企业不断开发符合市场需求的新产品，不断提高产品质量和服务水平。持续的产品创新和服务网络的完善不但需要大量的资金，还需要坚实的技术和人才支撑，要获得用户的认可也需要一定的时间，因此新进入的企业很难在短时间内形成品牌影响力。

新中国成立以来，特别是改革开放后，我国的齿轮行业得到了持续的发展，已成为最大的机械基础零部件行业。齿轮行业能得到快速发展的有利因素主要有：

1）难以替代的配套地位。齿轮及齿轮产品是机械装备的重要基础件，齿

轮传动与带、链、摩擦、液压等传动相比，具有功率范围大、传动效率高、圆周速度高、传动比准确、使用寿命长、结构尺寸小等一系列特点，因此已成为绝大部分机械产品不可缺少的传动部件，也是成套设备中比重最大的传动形式，这些优点决定其难以替代的配套地位。20 世纪八九十年代，不少人认为齿轮是夕阳产业，将逐渐被其他传动方式所替代，20 多年过去了，齿轮不论从产业方面、装备方面还是技术方面都得到了快速发展，市场规模逐年增大、应用范围逐年扩大，完全没有停滞的迹象，更没有被广泛替代的迹象。又如最近几年发展迅速的风电增速箱，尽管从技术上讲有双馈机组和直驱机组之分，直驱机组取消了增速齿轮箱，但仍难以看到直驱机组要取代双馈机组的明显趋势，可以看出增速箱、偏航传动装置、变桨传动装置都是大型风电机组上不可缺少的齿轮传动产品。

2）有利的政策环境。“十一五”期间，装备制造业的发展得到了政府的高度重视，振兴装备制造业被列为“十一五”重大发展战略，并出台了《振兴装备制造业若干意见》，明确提出到 2010 年，要发展一批有较强竞争力的大型装备制造企业集团，增强具有自主知识产权重大技术装备的制造能力，基本满足能源、交通、原材料等领域及国防建设的需要等目标。在相关政策的大力支持下，我国装备制造业迎来了新一轮黄金发展时期，而这也必将带动作为配套部件的齿轮产品的需求。国务院最近发布的《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》把新一代信息技术、生物、节能环保、高端装备制造业、新能源、新材料、新能源汽车等七大产业作为“十二五”期间我国产业发展的重点方向和主要任务，也将为齿轮产业的快速发展提供良好的政策环境。

3）良好的下游产业发展势头。作为配套部件的齿轮产品，在下游行业的带动下将保持平稳增长的势头。近年来我国机械行业保持着稳定快速的发展，我国整体机械水平的提高带来工业成套设备的发展，成套设备的设计权和制造权也慢慢转向我国，这必将带动配套部件的需求。

我国钢铁工业近几年取得了快速发展，21 世纪前 50 年，钢铁产品仍将是人类社会最主要的不可替代的结构材料和产量最大、覆盖面最广的功能材料。我国已经成为最大的钢材消费国之一，钢铁消费潜力巨大。由此，炼钢、轧钢等冶金工业用重型设备将具有广阔的市场前景，同时将拉动齿轮产品等配套设备的需求。2002 年以来，我国电力生产快速增长，2004 年发电量达 2.19 亿 kW·h，新增装机容量 5 055 万 kW，2005 年发电量达 2.48 亿 kW·h，装机容量突破 5 亿 kW。这

也将大大拉动齿轮产品的需求。根据我国对煤炭消费的预测，以及国家要求发展大中型高产高效煤矿和淘汰落后煤矿的精神，现有的神华、兖州、大同、晋城、淄博等矿每年就需高产高效综采 1 200kW 以上的电牵引设备十余套，这为齿轮行业的发展提供了广阔的空间。其他由于农业机械化的升级，工程机械门类的增加，造船业、起重运输业、建筑业、环保设备、航天工业等的快速发展，都将促进我国齿轮行业的发展。

同时，我国齿轮行业也面临着如下诸多不利因素：

1）大型跨国企业加入国内市场竞争。20 世纪 80 年代，弗兰德（Flender）等少数国外公司的产品进入了我国市场，虽然它们在技术上占有优势，但在国内未有生产基地，所以成本较高，未能构成较大威胁。20 世纪 90 年代中期以来，诸多世界知名企业开始进入我国市场，并建立生产基地，仅在天津就有 SEW、弗兰德、住友、诺德、伦茨等多家外资企业。这些公司不仅是全球经营，而且是全球采购、制造，它们凭借品牌、装备、技术、资金和生产规模的优势，与国内的工业齿轮企业展开了激烈竞争。

2）高端产品市场门槛较高。如汽车自动变速器、百万千瓦级核电齿轮箱、超临界火电机组齿轮调速装置、高速列车驱动单元等，由于它们对产品可靠性要求高，国内缺乏对核心技术的掌握，导致产品基本依赖进口，国内开发的首台（套）产品往往难以得到应用，制约了产品研发进度。

3）高性能原材料供应周期长。工业齿轮行业大型铸锻件的供应主要依赖于少数几家国有大型重机企业，随着齿轮行业持续发展，对大型铸锻件的需求不断增加，尽管近几年重机行业技术改造速度加快，产能不断提高，但供货周期未能明显缩短。这将影响国内工业齿轮行业的市场竞争力。

随着工业化与信息化的融合，现代齿轮传动信息化与机电一体化的特征愈加明显。我国齿轮行业呈现出设计信息化、装备智能化、流程自动化、管理现代化的发展趋势。精益生产、敏捷制造、虚拟制造、网络化制造等新的生产方式将在产业升级中广泛应用。齿轮生产企业的技术改造要与各类主机的发展密切结合，以提高关键工艺与综合工艺能力为突破口，采用先进技术和先进标准，提升管理水平，实现企业技术的全面提升。增强企业研发创新能力，提高行业产品水平，突破高端产品核心技术，从规模速度型转变为创新效益型，从齿轮制造大国迈向齿轮制造强国，是我国齿轮行业今后一段时期的重要任务和努力方向。行业专家对我国齿轮行业所作的预测为：未来的 10 年我国齿轮工业仍将得到持续快速发

展。我国齿轮制造企业将实现由集约化管理向信息化精益制造的转变，齿轮产品将向高速、高效、绿色方向发展，市场需求和产值都保持高速增长。同时，行业内部通过竞争与整合，产业集中度将进一步提高，形成一批销售收入上百亿元、几十亿元、5 亿元、1 亿元的特大型、大型、中型、小型规模的企业。

目前，我国齿轮行业存在的主要问题有：

1）行业创新能力薄弱，国际竞争能力缺失。目前，我国齿轮行业中只有少数企业建立了技术中心，而且也只有少数技术中心具备了自主创新能力。由于创新能力不高，导致相当一部分企业只是一个来图加工的制造厂，缺乏自主产品升级能力，只能通过扩大产能，以低质、低价的方式参与市场竞争。由于产品难以换代升级，不具备参与国际市场中高端齿轮市场竞争的能力。因此，我国齿轮行业亟待调整齿轮产业结构，加速推进齿轮产业升级。

2）产业过于分散，市场竞争无序。齿轮产品处于产业链的中段，被强大的主机和整机组装企业夹在中间。国际跨国集团和国内主机厂利用零部件企业同行是冤家的特点，迫使同行业企业之间互相压价，低价采购，造成分散的齿轮企业间的恶性竞争，使许多小企业难以形成自主创新能力，处于生存边缘的尴尬局面，有些企业长期通过测绘、仿制他人的产品，以次充优，扰乱市场。因此，应通过组织产业联盟或兼并重组等形式，提高齿轮企业的集中度，提倡行业内加强产业链合作，共同创造和维护公平竞争的市场环境。

3）产业链尚未形成，企业缺少定价权。以汽车变速器为例，主要表现在缺乏齿轮优质材料供应、少无切削精密锻造毛坯、热处理内在质量的严格控制、齿轮精加工和在线检测能力、柔性装配生产线等。尚未形成完善的产业链市场体系，影响了齿轮产品水平的提高，影响了产品质量追溯体系的健全，也影响了企业定价权的形成。定价权不是垄断价格，而是定价话语权，上下游协商与平等谈判权。

目前，尽管我国齿轮行业的骨干企业基本具备了新产品的开发能力，但总体而言，我国齿轮产品的质量、设计、工艺开发、制造装备和检测试验等综合技术水平相当于发达国家 20 世纪 90 年代中后期水平，落后于目前的国际先进水平十年左右。一方面，中低端产品产能过剩，同质化恶性竞争严重；另一方面，高端产品能力不足，汽车、工程机械、高铁、能源和大型农机等的高端齿轮传动装置大量依赖进口，进出口逆差逐年加大（2009 年全行业进口总额 72.6 亿美元，出口总额 17.14 亿美元，逆差 55.46 亿美元。其中轿车自动变速器一项进口就高达 37.23 亿美元，加上大客车、轻型与重型商用车、非公路用

车的自动变速器及零部件进口总额高达 50 亿美元）。与国外先进水平相比，部分产品的研发周期是国外同类产品的 2 ～ 3 倍，使用寿命是国外同类产品的 30% ～ 50%，形势相当严峻。

我国齿轮制造业与发达国家相比还存在自主创新能力不足、新品开发慢、市场竞争无序、企业管理薄弱、信息化程度低、从业人员综合素质有待提高等问题。

近年来，随着我国机械行业的快速发展，作为主机配套的机械通用零部件行业，生产经营稳步增长，结构调整速度加快，技术水平也大幅提高。但同时也应看到，随着我国加入 WTO，国内外两个市场加速融合，对零部件行业的影响日益明显，市场竞争也更加激烈，一批落后劣势企业将被淘汰出局，同时形成一批强有力的企业集团。过去我们认为，加入 WTO 后对汽车等主机行业的冲击将会很大。但实践证明，对零部件行业的冲击比预期要大。这主要表现在：一是零部件关税低；二是国内零部件产品水平较低，有的没有与主机同步发展，因此，主机企业为保证产品品质，采取全球采购，也导致了零部件进口逐年增长；三是不少境外跨国公司看到了我国的潜在市场和劳动力的优势，纷纷在我国投资建厂，世界著名的齿轮专业公司大多在我国建有制造基地，并且规模不断扩大，这对国内企业形成了强大的竞争压力；四是部分企业受限于技术、人才、资金等，只能靠生产低端产品，通过不正当方式拼命压价，导致低价无序竞争，这既破坏了市场秩序，又导致企业为降低成本而偷工减料，造成伪劣产品充斥市场。

同时，齿轮行业要想稳步健康发展，还必须解决好如下四个问题：

一是优质材料供应紧张。零部件行业是耗材大户，一年可消耗钢材 300 万 t 左右，钢材的品质和价格与行业发展关系十分密切。目前，齿轮、弹簧、粉末冶金、紧固件等行业每年仍需进口数十万吨钢材（铁粉）。齿轮行业应与特钢企业共同组建“齿轮钢供应协作网”，商议钢种开发、质量评定、热处理工艺及供应渠道等问题。

二是工艺装备落后。车辆齿轮产品属于大批量生产方式，工艺装备的先进程度对产品质量起着很大作用，甚至是决定性的作用。齿轮行业小企业多、民营企业多，它们大多数起步较晚，部分企业受投资所限，生产装备和生产工艺落后。

三是人才队伍短缺。人才问题是国内很多企业面临的普遍问题，齿轮行业尤为突出。由于齿轮行业工艺过程相对复杂，人才培养周期长，限于企业规模、地域、生产任务的紧迫性，导致有些企业技术、管理人才十分缺乏。

四是管理水平不高。管理一直是我国企业的薄弱环节，齿轮行业也是如此。不少企业，特别是中小企业管理观念陈旧，管理手段和方式落后，管理基础薄弱。现代化科学管理是增强市场竞争力的客观需要，信息化是提升企业管理水平、实现管理创新的重要途径，也是解决当前企业管理中突出问题的有效措施。企业管理必须从企业本身的特点出发，不能生搬硬套，不论是经营、生产、财务、物流管理都应从企业自身条件、产品的特点等考虑。例如，为了满足主机的配套供应需求，就要求零部件企业的产品开发向集成化、模块化、标准化、同步化等方向发展，要达到这一标准，就要求企业在提升技术水平、装备水平的同时，必须提升企业的管理水平和市场响应能力。

第 3 章

世界齿轮产业的发展情况

3.1 主要先进国家齿轮产业的发展历程和特点

齿轮及齿轮产品是机械装备的重要基础件，绝大部分机械成套设备的主要传动部件都离不开齿轮，齿轮行业是机械工业的基础。据史料记载，公元前 400 年至公元前 200 年，我国古代就已开始使用齿轮，在我国山西出土的青铜齿轮，是迄今为止所发现的最古老齿轮。作为反映古代科学技术成就的指南车就是以齿轮机构为核心的机械装置。但是直到 17 世纪末，人们才开始研究能正确传递运动的轮齿形状，18 世纪欧洲工业革命以后，以蒸汽机起动，继而内燃机、电动机等新动力的出现，才真正开启了现代齿轮技术的大门，齿轮传动的应用才逐渐得到推广。齿轮作为机械装置的主要传动部件，其发展与机械行业的整体技术和产业的发展密不可分。美国、前苏联、德国、日本等经济发达国家对齿轮的推广应用发挥了重要作用。

3.1.1 美国齿轮产业的发展历程和特点

美国虽然建国只有 200 余年，但它的齿轮产业至今已有 100 多年的历史。美国生产齿轮的厂商较多，如具有代表性的费城齿轮公司（Philadelphia Gear Corporation）、福克齿轮公司 [FALK Corporation，现被莱克斯诺公司（Rexnord Corporation）] 收购、豪斯伯 • 斯科特公司（Horsburgh & Scott）、柯蒂斯莱特（Curtiss Wright）公司等，它们都是世界上著名的齿轮公司，技术力量强大，设计和制造能力均代表着国际先进水平。美国的齿轮公司主要集中在落基山脉以东的北部地区，这里是欧洲移民最早的落脚点，也是资本主义经济发展最早的地区，集中着全国大部分的工业。但是在 20 世纪的后几十年里，受美国国家产业发展规划和经济衰退的影响，包括齿轮工业在内的美国制造业经历了一个痛苦的变化过程。其工业制品从 20 世纪 50 年代占世界一半的供应量，降到 ¼ 还要少。德国和日本借机将产品打入美国市场，使美国的齿轮进口量翻了一番，从而迫使大量美国齿轮制造公司倒闭。在这段期间内，美国齿轮公司的数目减少了 20%，齿轮工业就业人数下降了 40%。就连在国际上享有盛名的双盘公司，在 1991 年也出现了有史以来的首次亏损，亏损额达到 240 万美元。

美国是世界上最大的齿轮产品市场，经历这次阵痛之后，美国重新认识到制造业对其国家经济和国防建设的重要性。从 20 世纪 90 年代起，政府开始纠正过

去偏重于基础科研，忽视应用技术的问题，在技术上转向实用，齿轮产量逐渐上升。并通过海外建立跨国公司以降低生产成本、齿轮产品技术创新和创建北美自由贸易圈等一系列的有效措施，美国又逐渐成为国际市场上齿轮产品的有力竞争者。

3.1.2 德国齿轮产业的发展历程和特点

德国政府一贯重视齿轮产业的重要战略地位，在多方面大力扶植，是最早进行工业革命的国家之一。德国的齿轮技术处于世界领先地位，拥有采埃孚（ZF）、弗兰德（Flender）、SEW、伦茨（Lenze）、诺德（NORD）、伦克（RENK）等一大批国际知名齿轮公司，其产品深受客户信赖。这主要是由于德国本身的工业技术实力就很雄厚，又特别注重科学试验、理论与实际相结合，基础科研与应用技术并重。企业与大学科研部门紧密合作，对齿轮的共性和特性问题进行深入的研究，德国各公司、企业又十分注重产品质量和信誉，在质量上精益求精。例如：德国的齿轮精度 DIN 标准中的各项指标均比 ISO 国际标准严格；DIN 标准对齿轮材料热处理后的性能要求已有规定，而各公司还在 DIN 标准的基础上，制定出比 DIN 标准限制更严、目标值更准确的企业标准，以使质量更稳定。在科研方面，慕尼黑工业大学的齿轮研究所（简称 FZG）从成立至今的几十年中一直承接政府和企业大量的科研项目。该研究中心实验室的规模较大，技术力量很强，拥有手段齐备的检测仪器和设备，并有 20 多个试验室。试验对象以实用技术为主，一旦试验得到可靠结果便立即进行技术转化，变成强有力的社会生产力。各公司认为购买包括 FZG 试验室在内的他人成果，比由公司自己投资并配备人员、设备，仅从事范围很窄的基础科研试验更为有利，而且见效快。所以各公司主要集中精力于制造工艺、新产品研发、产品质量和劳动生产率提高等方面的开发，使自己的产品在质优价廉上更具竞争力。这种科研与生产长期有效分离、相互促进的模式，促使德国齿轮产品的设计和制造能力目前均位于世界前列。

3.1.3 日本齿轮产业的发展历程和特点

日本是在特殊的历史条件下进入资本主义阶段并开始产业革命的。当日本 1868 年建立明治政权跨入资本主义门槛时，欧美先进国家已经完成了工业革命。但是，通过引进英国等西方先进国家的技术设备，聘用外国专家和技术人员，日本的工业也得到了快速发展。经过 100 多年的发展，培育出了一批著名的齿轮公司，如住友、协育（KG）、小原（KHK）等。近几十年来，日本通过革新齿轮行业管理模式，取得了技术以及产业的快速发展。例如，日本采用由机械学会组织全国力量（主要为大学和科研机构），企业出资，分专题进行系统研究的模式。

各大学和研究所的研究课题各有侧重，相同课题或重复内容不多，且大学侧重基础理论和基本规律的研究，不过分强调解决生产实际问题，而研究所侧重于结合机械产品进行研究，着眼于提高产品性能或开发新产品，所取得的研究成果均直接用于指导生产。这种产学研有机分离、相互促进的发展模式与德国的十分相似，均有专业机构进行齿轮基础技术及产品开发研究，企业则主要关注于产品制造及市场营销。

相对其他机械零部件行业而言，齿轮工业属于技术和资金最密集以及规模最大的行业。以上特点决定着一个国家、一个企业齿轮产品的市场地位。目前，在国际市场上，规模较大、知名度较高的齿轮箱制造商包括德国的弗兰德、SEW、伦茨、诺德，意大利的邦飞利、布雷维尼、康迈尔，日本的住友，英国的戴维布朗，比利时的汉森，美国的福克等公司，它们占据了国际工业齿轮市场 20% 以上的市场份额。从工业齿轮产品的销售额来看，弗兰德公司约为 10 亿美元，SEW 约为 9 亿美元，伦茨约为 2.5 亿美元，邦飞利约为 2.4 亿美元，布雷维尼约为 2.4 亿美元，福克公司约为 2 亿美元，住友、诺德、汉森分别约为 1.6 亿美元、1.4 亿美元和 1.2 亿美元。从市场集中程度来看，工业齿轮行业集中度较低，前十大制造商市场份额合计约 20%，第一大制造商弗兰德的市场占有率仅为 6.3%。图 3-1 所示为世界主要齿轮生产商的市场占有率。

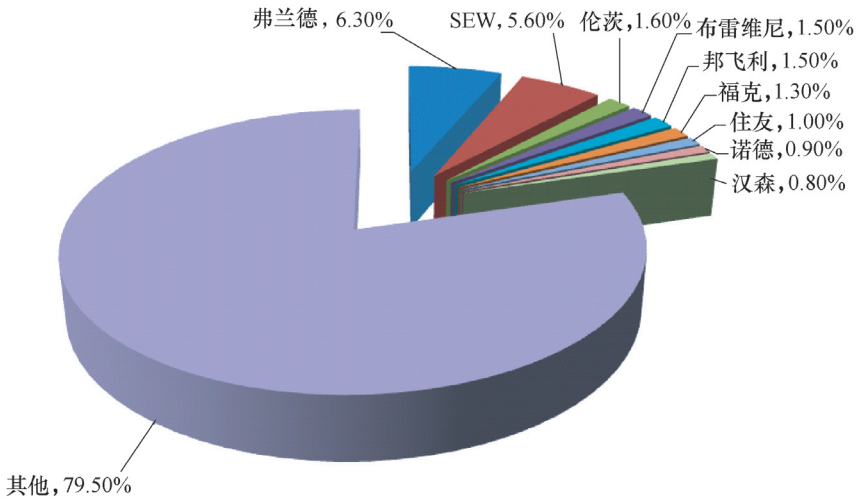


图 3-1　世界主要齿轮生产商的市场占有率

3.2 主要先进国家齿轮产业的技术水平和规模

进入工业革命以来，齿轮技术得到了快速发展，尤其最近 30 年随着硬齿面齿轮的出现，齿轮技术得到了飞跃式的发展。目前，齿轮传动的功率已可达 125 000kW，圆周速度可达 300m/s。在齿轮制造方面，已可对分度圆直径从几纳米到几十米，模数从 0.001mm 到 100mm，齿数从特殊齿轮的齿数 1 或 2 到数千齿的齿轮进行加工。齿轮产品不断向系列化、模块化方向发展。

在齿轮设计方面，轻量化、低噪声以及特种齿轮传动技术不断得到发展。为达到轻量化的目的，各国已普遍采用硬齿面技术，以提高现有渐开线齿轮的承载能力，缩小装置的尺寸。在特殊的设备上，特种齿轮设计也广为运用，如美国军用重型直升机主传动系统所采用的面齿轮，可使减速器体积和重量均得到有效减小。行星齿轮传动的发展和少齿差、零齿差内齿轮副的应用，是当代齿轮传动技术的又一大特征，是齿轮传动小型化的另一个典型标志。行星传动把传统的定轴传动改为动轴传动，通过多行星轮的设计，实现了功率分流与合流，具有重量轻、体积小、承载能力高等优点。目前，行星传动在能源装备、舰船、冶金、矿山、建材等大型传动装置中已得到十分广泛的应用。

随着机械设备向大型化方向发展，齿轮的性能指标得到了大幅度提高，如高速齿轮的传递功率已达到 100 000kW，圆周速度达到 300m/s，最高转速达到 100 000r/min，轧钢机齿轮的圆周速度达到 30 ～ 50m/s，使用寿命达到 20 ～ 30 年以上。

在齿轮制造技术方面，大型硬齿面齿轮的切齿设备与热处理工艺及其装备在近年来发展较快。如超硬切齿、高速滚齿、滚内齿、数控成形磨齿、大模数齿轮珩齿、弹性砂轮抛光、轮齿修形、大模数齿轮感应淬火及深层渗碳等，这些新工艺在生产上不断地得到试验与应用。齿轮制造工艺的发展，在很大程度上表现为精度等级和生产效率的快速提高。自 20 世纪 70 年代以来，各种齿轮的制造精度普遍提高 1 ～ 2 级，有的甚至提高 3 级以上。对于模数不大的中小规格的齿轮，通过开发高性能滚齿机和插齿机、改善刀具材料等，大幅度提高了制齿效率。

由于硬齿面齿轮的广泛应用，以及高速、高性能要求齿轮的日益增多，磨齿加工已成为轮齿加工的普通关键工序之一。近年来，各机床制造企业为提高磨齿效率，对磨制方法进行了不断改进，如减少磨削次数，压缩展成长度，缩短尾削冲程。马格（MAAG）公司与耐尔斯（Niles）公司分别提出的“K—磨削法”和“双面磨削法”，都有效地提高了实际磨削效率。

另外，齿轮传动计算、仿真、优化、动力学分析软件在近几年也得到较为广泛的开发和应用。通过计算机优化，对各种可能的设计方案进行计算、分析和比较，往往能取得更为理想的结果。例如，英国诺迈士（Romax）公司开发的 Romax Designer 软件，作为齿轮传动系统和轴承系统设计开发的平台工具，能够适用于平行轴系、相交轴系、行星齿轮传动等多种传动形式的产品设计与开发，能够完全覆盖系统概念设计、详细设计以及系统验证等多个阶段。该软件通过计算传动系统变形及各部件上的载荷情况，能够进行齿轮强度、轴承寿命、轴疲劳、齿轮修形、齿轮接触应力、箱体柔性与强度、齿轮参数优化、系统振动噪声（NVH）预估等方面的设计分析，类似功能的软件还有英国赛玛特（SMT）公司的 MASTA、瑞士 KISSsoft AG 的 KISSsoft 等。

3.2.1 德国齿轮产业的技术水平和规模

德国是世界上机械工业最发达的国家之一。美国、日本与德国一直为世界上机械产品的最大供应国，该三国机械产品的销售总额已超过全球的六成以上。2004 年德国动力传动产业产值比 2003 年增长了 9%，达 103 亿欧元，占全球机械市场 20% 左右的份额，领先于日本和美国，跃居世界第一位。德国机械设备制造业的继续领先得益于其不断增长的出口额。2011 年，其出口额比 2010 年增长了 14%。目前，德国机械产品最大的销售地仍是美国，但之后的排序发生了变化，最大的“亮点”来自我国。2004 年，德国机器产品对我国出口额占其出口总额的 8%，达 75 亿欧元，仅次于美国。图 3-2 所示为 2000 — 2011 年德国动力传动产业的情况。

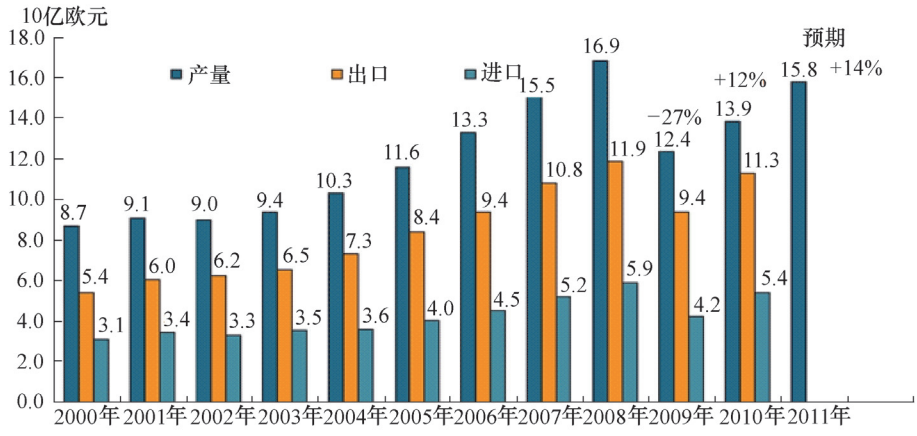


图 3-2 2000 — 2011 年德国动力传动产业的情况

3.2.2 美国齿轮产业的技术水平和规模

美国的齿轮行业至今已有 100 多年的历史了。美国有数百家齿轮制造企业，其中相当一部分都是世界上最著名的齿轮公司，技术力量强，设计和制造能力均达到国际先进水平。在经历了 2008 年金融危机后，美国齿轮工业开始复苏，自 2009 年低谷以来以 3.4% 的增速稳步增长，2010 年 12 月份的月订单量已超过金融危机前平均水平 2.5 亿美元。图 3-3 所示为 2007—2010 年美国齿轮工业订单及发货量。

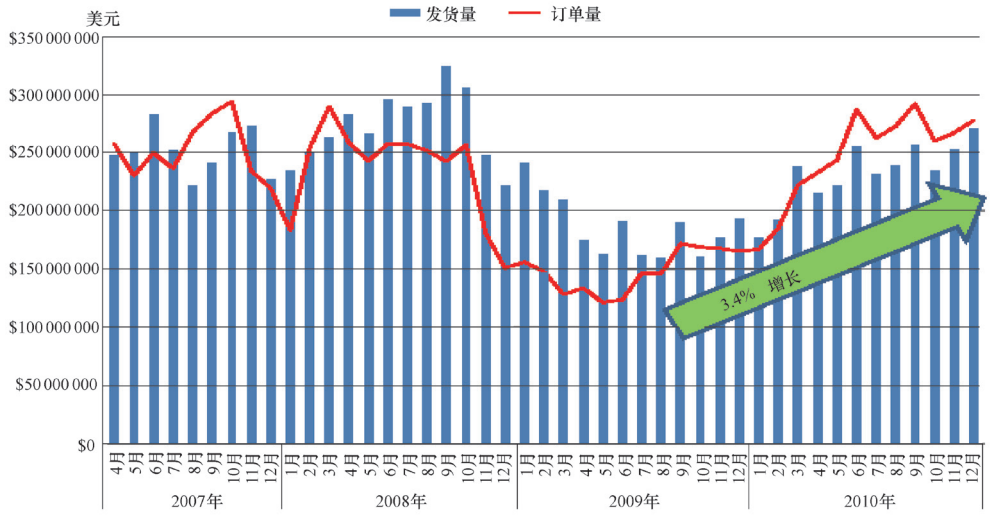


图 3-3 2007—2010 年美国齿轮工业订单及发货量

3.2.3 日本齿轮产业的技术水平和规模

日本同样也经历了全球金融危机，2009 年齿轮装备及齿轮产量触底后出现好转，平稳回升。截至 2010 第四季度，齿轮产量已经达到了 3.5 亿美元，齿轮装备的产量突破了 10 亿美元。图 3-4 所示为 2008 — 2010 年日本齿轮产量（数据来源：METI）。

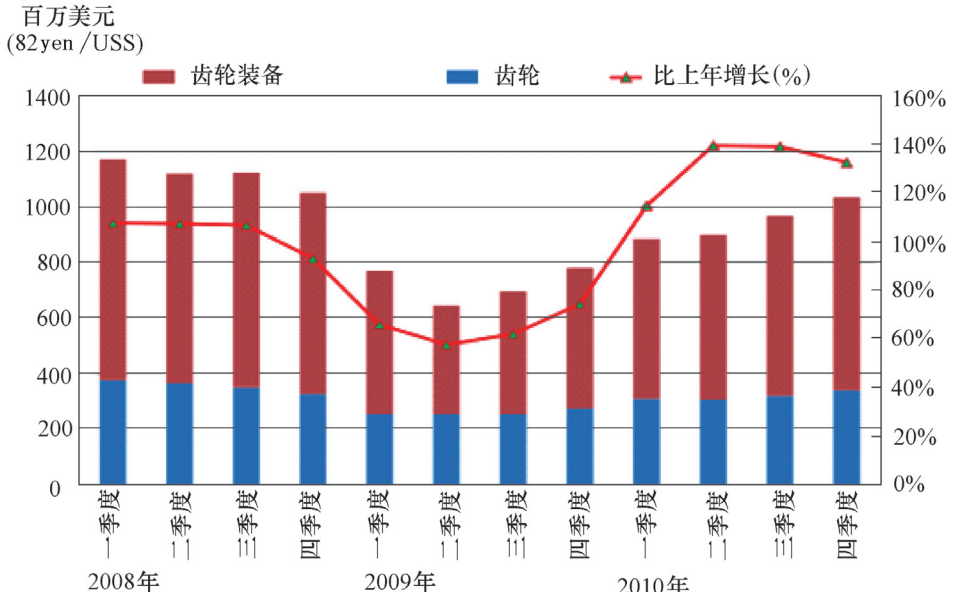


图 3-4　2008 — 2010 年日本齿轮产量

3.3　世界齿轮产业技术和产品发展趋势

1. 世界齿轮产业技术和产品特点

当今世界各国齿轮传动技术和产品呈现出六高、三化、二低的特点。

（1）六高　六高是指高承载能力、高齿面硬度、高精度、高速度、高可靠性和高传动效率。

1)高承载能力。在设计方面，采用计算机优化设计和等强度设计；在制造方面，重点是进行硬齿面加工，尤其是大型硬齿面齿轮的切齿与热处理新工艺，如成形磨齿、轮齿修形，以及优质低碳合金钢深层渗碳等新工艺不断地进行试验与应用，齿轮的承载能力大大提高。

2）高齿面硬度。随着硬齿面齿轮的发展，齿轮材料与热处理技术越来越受到人们的重视。齿轮用钢的发展趋势为：一是含 Cr、Ni、Mo 的低合金钢；二是硼钢；三是碳氮共渗用钢；四是易切削钢。重型机械常用 Cr、Ni、Mo 钢。齿轮热处理工艺一般有渗碳（或碳氮共渗）、渗氮、感应淬火、调质四类。当前总的趋势是提高齿面硬度，渗碳淬火齿轮的承载能力可比调质齿轮提高 2 ～ 3 倍。渗碳淬火齿轮可以获得高的表面硬度、耐磨性、韧性和抗冲击性能，能提高抗点蚀、抗疲劳性能。

3）高精度。齿轮制造工艺的发展在很大程度上表现为精度等级的提高。与20世纪70年代相比，各种齿轮的制造精度普遍提高了2～3级，目前普遍达到5～6级，部分达到3级。

4）高速度。由于机械设备向高速化发展，齿轮的工作转速也随之提高。另一方面，随着加工装备水平的提高，齿轮的加工也向着高速、高效方向发展。

5）高可靠性。设计寿命为无限寿命设计。为了更好地保证设计寿命，齿轮采用了各种先进的材料与工艺以防止齿轮的早期破坏，如提高齿面硬度防止点蚀，通过Cr、Ni、Mo钢的材料选用和热处理工艺提高材料的疲劳强度，防止断齿。对于高速齿轮，对热变形进行修正，防止齿轮的胶合。对于低速重载齿轮，对齿面的弹性变形进行修正，提高齿轮的承载能力，达到提高寿命的目的。

6）高传动效率。精度的提高、结构的优化都是提高传动效率的最有效的途径。对于高速、重载齿轮传动，效率是重要的技术指标，而能源消耗也成为关键的成本因素，因此齿轮的发展都致力于在相同条件下提高传动效率。

（2）三化　三化是指模块化、多样化、小型化。

1）模块化。标准模块化设计技术引入到通用工业齿轮箱，旨在追求高性能和满足用户需求的同时，尽可能减少零部件及毛坯的品种规格，以便于组织生产，使零部件生产批量化，以降低成本，缩短加工周期，取得规模效益。

2）多样化。随着装备工业技术的全面提高，对工业齿轮产品提出更多个性化的要求，因此工业齿轮产品的设计与生产也向多样化的方向发展。

3）小型化。为达到齿轮装置小型化目的，提高现有齿轮的承载能力，各国普遍采用硬齿面技术，提高硬度以缩小装置的尺寸；在冶金、矿山、水泥、轧机等大型传动装置中，行星齿轮以其体积小、重量轻、承载能力强、效率高等优点而得到广泛应用。

（3）二低　二低是指低噪声、低成本。

1）低噪声。为了满足越来越严格的环境保护法规和标准，也为了改善工作环境，低噪声成为重要的指标之一，国内外的先进齿轮技术也越来越重视控制噪声。

2）低成本。成本直接关系企业的利润，特别是对批量产品，降低制造成本是一项综合的控制过程，需要优化改进各个环节。

2. 世界齿轮传动技术和产品发展趋势

齿轮传动技术和产品主要发展趋势体现在以下三个方面：

（1）不断向轻量化、机电液混合传动方向发展　由于近 30 年计算机与数控技术的快速发展，使得机械加工效率和精度得到很大提高，进一步推动了齿轮产业的发展。由于工艺技术的改善，使得许多过去难以实现的设计要求现在变得轻而易举，如精密铸造、模锻以及先进焊接技术的发展，不但使得齿轮箱体的制造质量更加可靠，而且箱体外观也更加精致。近几年由于对节约资源认识的不断提高，齿轮传动的轻量化设计制造也逐渐受到重视，轻量化结构的采用、新型轻量化材料的选用以及轻量化制造工艺的运用不断得到发展。在传动系统设计中，由电子系统控制的齿轮、液压、带链的混合传动，将成为新型传动产品发展的重要趋势。例如：具有舒适、安全、燃油消耗低等优点的汽车自动变速器，将成为转矩大于等于 200N·m 的中高等轿车的换代产品；输入转矩为 700 ～ 2 000N·m 的客车全自动变速器，也因其换档轻便、舒适、安全、噪声小以及与发动机匹配好等优点，逐渐成为豪华客车的主要传动配套产品。目前，世界各主要汽车生产厂家，都把开发自动变速器、改进性能、降低制造成本作为重点发展方向。在重工业领域，核电、超超临界火电用大功率机电液一体化齿轮前置式（或后置式）液力调速装置也是复合传动应用的一个典型产品。

（2）制造与销售向着信息化、网络化、全球化方向发展　自 20 世纪 90 年代以来，以信息技术、网络技术及人工智能技术为特征的先进制造技术不断得到发展，出现了计算机控制柔性制造技术、系统信息综合管理技术、智能数控加工中心等。这些现代化技术和设备已经成为当前国内外齿轮企业关注的重点。快速原型 / 零件制造 (RPM) 技术，计算机辅助设计与制造技术，如 CAD、CAE、CAPP、CAM、CNC 柔性制造，超精加工、具有联网功能的 NC 装置及工业机器人；计算机集成制造技术（CIMS）以及分散网络化制造技术（DNM）等在齿轮制造领域逐步得到广泛应用。数字化、网络化已成为现代齿轮企业发展的突出特点。企业信息化建设的概念已不仅局限于技术上的研究应用，企业管理、采购、销售、自动化办公等方面，都因网络的高速发展和广泛应用而成为企业信息化建设进程中一个重要的组成部分。互联网同传统行业的结合是信息产业和传统行业共同的发展方向，网络发展的前景及其广泛的用途不容置疑，网络化、信息化的潮流也给齿轮生产企业带来了大好机遇。目前已经有不少企业实现了内部管理网络化，销售管理网络化和无纸化办公在不少企业也已实现或正在实现。

（3）齿轮行业结构将进一步得到调整　随着贸易全球化趋势的加快，世界级的跨国公司已开始大举进军发展中国家的市场，并以独资、合资、合作制造等方式生产汽车、工程机械、大型成套设备的齿轮及齿轮装置。这必将对我国及其他发展中国家的零部件企业产生较大的冲击，尤其对低水平制造能力过剩，高水平制造能力不足的国家（如中国、印度等）产生更为深远的影响。国际工业齿轮每年大约有 200 亿美元的市场规模，其中前十大齿轮生产厂家已占有 20% 左右的市场份额，主要包括德国的弗兰德、SEW、伦茨等公司，日本的住友公司，比利时的汉森公司以及美国的福克公司等。产品创新、管理创新、工艺创新将是参与市场竞争的有效手段。为迎接更为激烈的市场竞争，发展中国家齿轮企业必须通过产品结构、行业结构、企业生产结构的调整，迅速赶上和缩小齿轮产品质量与国际水平的差距，并利用其在齿轮生产中劳动力价格相对较低的优势，积极参与国际齿轮市场的竞争，在国际竞争中发展自身的齿轮行业。如不能创新发展模式，国际齿轮行业将进一步集中化，最终齿轮市场将掌握在少数几个跨国公司的手中。

3.4　跨国齿轮集团公司在我国投资发展概况

20 世纪 80 年代，弗兰德等少数外国公司开始进入我国市场，当时虽然它们在技术上占有优势，但在我国没有生产基地，所以成本较高，未能对我国齿轮制造企业构成较大威胁。但 20 世纪 90 年代中期以来，世界诸多知名企业开始大量涌入我国市场，并建立生产基地，仅在天津就有 SEW、弗兰德、住友、诺德、伦茨等多家外资企业，这对我国的本土齿轮企业产生了较大的冲击。例如，SEW 中国公司在天津经济技术开发区建立了亚太制造中心，在苏州、广州、沈阳建有装配中心，在苏州建有电机厂，同时在全国各大中城市设有 34 个销售办事处。诺德（中国）传动设备有限公司于 2004 年在苏州工业园区成立，总占地面积 3.5 万㎡，一期占地面积 1 万㎡，于 2005 年建成并投入使用，占地 1 万㎡的诺德电机厂作为诺德中国的二期工程也已于 2008 年正式投产。另外，诺德公司还先后在北京、苏州、天津等地投资建设了现代化的组装及生产基地，目前已在钢铁、环保、物料搬运、汽车、舞台、食品、饮料、制药等各行各业都取得了很好的市场业绩。可以看到，这些公司在我国的经营时间不长，但凭借品牌、装备、技术、资金和生产规模的优势，迅速占据了我国高端齿轮产品的市场，与我国齿轮企业展开了激烈的竞争。

1. 弗兰德(Flender)公司

弗兰德机电传动（天津）有限公司于1996年在天津北辰科技园区成立，是弗兰德集团的独资子公司。其项目初期总投资700万美元，到2003年又经两次增资，通过引进先进的齿轮生产设备，实现了高精度齿轮变速箱关键核心部件在我国制造，使其我国国内工厂与德国总部逐步达到了全方位、同等能力的机械加工水平；2004年，三期工程启动，又以德国总部技术先进、规模庞大的装配中心为模板，建设了同类装配车间中亚洲最大的装配中心，占地面积27 000 ㎡，设有仓库、装配线、检测区、喷漆线与发货区，该装配中心共设有3条总装线，分别用于小型与中型产品的装配，5～45t的重型减速机与工业应用型产品的装配，以及10～75t的风力发电齿轮箱的装配，该装配中心的建成使弗兰德中国公司的装配能力和水平得以大幅度提高；2006年，弗兰德中国公司又启动了四期工程，投资2 400万元人民币，建设了先进的热处理车间。在过去十几年的发展中，弗兰德公司通过厂房建设、设备购进、仓库扩建和装配中心建设等一系列措施的实施，使其中国公司逐步具备了高水平的机械制造能力。

弗兰德集团于2005年被西门子工业自动化与驱动技术集团收购，弗兰德机电传动（天津）有限公司现也已更名为西门子机械传动（天津）有限公司，成为西门子工业自动化与驱动技术集团在中国的运营公司。通过与西门子的合并，弗兰德集团进一步完善了其产品链，使其能够为客户提供从起动器/变频器到齿轮箱的整体驱动方案。现在其提供的动力传动设备产品种类齐全，能满足几乎所有工业生产的需要，包括标准减速机、齿轮马达、蜗杆减速机、重型减速机、工业应用型产品、风力发电产品、联轴器、齿轮及其他零部件等，产品广泛应用于轻工、建材、矿山、电力、冶金、港口装卸、化工及环保行业。

其主要产品有：①标准系列产品，能够提供各种功率范围模块化设计的标准系列产品；②FZG标准齿轮箱，能够提供平行轴、直交轴两种类型，25个规格型号，最大输出转矩为900 kN·m的产品；③MOTOX®-N齿轮马达，能够提供4个产品系列，14种规格，最大输出转矩为80kN·m的产品；④CAVEX®蜗杆齿轮箱，能够提供18种规格型号，最大输出转矩为360 kN·m的产品；⑤PLANUREX®行星齿轮箱，能够提供27种规格型号，最大输出转矩为2 600kN·m的产品；⑥联轴器，能够提供弹性联轴器、刚性联轴器、液力偶合器，最大传递转矩为10 000kN·m的产品等。

2. SEW公司

SEW 公司在天津经济技术开发区建立了中国总部及亚太制造中心，在苏州、广州、沈阳、武汉、西安建有装配中心，在苏州建有电机厂，在新疆建有维修工厂。同时，在全国各大中城市设有 34 个销售办事处。其中，SEW- 传动设备（天津）有限公司是 SEW 公司 1994 年在天津经济技术开发区建设的大型独资制造厂，一期总投资达 3 亿欧元，占地面积 17.5 万㎡，拥有现代化的厂房、制造加工和检测设备，已是 SEW 公司的全球九大制造厂之一，也是 SEW 公司在亚太地区的制造中心。截至 2010 年，SEW 中国公司销售额突破 40 亿元。SEW 公司生产的产品主要有减速器及变频器等，应用于钢铁、冶金、水泥、矿山、基建、建材、环保、造纸、港口、机场、航空、航天、石化、轻工、食品饮料及仓储物流等领域，如我国各主要港口、首都机场及各大机场、各大污水处理项目，中华世纪坛、首都剧场、人民大会堂大小礼堂改造工程，天津一汽、中国一汽、上海通用、大众、上汽通用五菱，上海磁悬浮列车工程、三峡水利工程、第 29 届北京奥运会开幕式地面舞台驱动系统、主火炬手空中行走驱动系统等。

其主要产品有：

1)产品模块组合体系。包括Q系列大型行星减速器、M系列大型工业用减速器、C 系列大型工业用减速器、直角输出蜗杆减速机、直角输出弧齿锥齿轮减速机、轴装斜齿轮减速机、W系列螺旋盘式直角输出减速机、联轴器、低齿隙行星减速器、SEW 微型减速电机（15W~2.2kW）、带轮无级调速减速机、摩擦盘无级调速减速机、MOVITRAC 变频调速器、MOVIMOT 变频器减速机一体机、MOVIDRIVE 矢量型变频器、交流制动电动机、伺服电动机等。

2）减速电动机。包括同轴式、直角轴型、斜齿行星型、低齿隙型、机械无级调速型等各种类别、各种型号的减速电动机。

3）大型工业减速电动机。包括 MC 系列、M 系列、ML 系列、Q 系列等大型减速电动机。

4）变频控制设备。包括 MOVITRACLT 系列、MOVITRAC®、MOVIDRIVE® 和 MOVIDRIVE®compad 变频器。

3. 福克（FALK）公司

美国福克公司创始于 1893 年，是美国最大的动力传动装置生产厂，并于 1998 年在我国成立福克动力传动（上海）有限公司，2005 年美国福克公司被莱克斯诺工业集团 (Rexnord) 并购后，福克动力传动（上海）有限公司也成为

莱克斯诺工业集团在华的独资企业。目前，该公司主要生产和销售莱克斯诺集团出品的各种动力设备和部件，包括 Rexnord/Falk 品牌联轴器、NRT 逆止器、DriveOne 型标准减速机、Quadrive 轴装式减速机、A-Plus 型齿轮减速机等传动产品。如今，Rexnord/Falk 品牌的产品已遍及我国的众多行业，如矿山、石油、石化、纸浆造纸、电力、冶金、粮油机械、港口机械、水泥、纺织、船舶等。

4. 住友（SUMITOMU）公司

住友重机最早创建于 1888 年，是日本具有代表性的综合机械制造厂商之一。1995 年 10 月，由住友重机械工业株式会社和住友商事株式会社共同出资在我国天津成立住友重机械减速机（中国）有限公司，并在 2001 年成立上海分公司作为其产品在中国的销售总部，同时在上海的松江设有维修中心。目前，住友中国公司的产品包括功率从几瓦的小型减速电动机到几万千瓦的大型齿轮箱，拥有变频器和各种电动机等。其主要产品系列有摆线减速机，采用准双曲面齿轮、高效率的 HYPONIC 减速机，采用二次接触理论的 HEDCON 蜗杆减速机，硬齿面减速箱，行星减速机，增速机等。

5. 汉森（Hansen）公司

汉森传动（天津）减速机有限公司是 2006 年 8 月由比利时汉森传动国际公司在我国投资成立的外商独资企业，主要从事工业减速机的设计、生产、组装和销售，销售和服务范围覆盖亚洲主要国家及地区。该公司主要产品有汉森 P4 系列工业用减速机，P4 单级减速机以及为空冷凝器系统开发的 M4ACC 系列产品及零部件供应。其产品应用于能源、环保、石化、食品、造纸、冶金、矿山、码头、物料运输等行业。

汉森风电动力设备（中国）有限公司坐落于天津市北辰科技园区，占地面积 390 亩（1 亩 =666.6 ㎡），总投资额 3 亿美元，由比利时汉森传动国际有限公司投资兴建。其主要生产 1.5 ～ 4MW 风力发电机的核心驱动设备。该项目一期投资 9 900 万美元，于 2008 年 8 月启动；二期投资 9 900 万美元，于 2009 年 7 月启动；三期、四期建设完成后，年产能可达 3 000MW。汉森风电动力设备公司主要从事风力发电机齿轮箱、传动设备、齿轮箱零部件的设计、开发、组装、制造与销售，产品在国内外大型风电场得到广泛应用。

6. 诺迈士（Romax）公司

英国诺迈士公司是集传动分析技术和项目咨询为一体的公司，总部位于

英国诺丁汉，在世界各地均设有办事处或代理商，在美国、日本、韩国、印度、澳大利亚等地均设有分公司。由其开发的Romax Designer和RomaxWind软件主要应用于齿轮传动系统虚拟样机的设计和分析，服务于汽车、航空、轮船、铁路及能源等行业的传动系统制造商。目前其在杭州和北京设有办事机构。诺迈士科技（杭州）有限公司是英国诺迈士公司于2008年在杭州萧山区成立的中国分公司，经过几年的发展，在我国取得了不俗的成绩，先后与大连重工起重集团、陕西秦川集团等我国知名厂商建立了合作关系。

Romax Designer软件的主要功能有：①考虑各部件柔性的系统变形计算；②齿轮设计校核和宏观参数优化；③轴疲劳计算；④锥齿轮接触印痕调整与LTCA分析；⑤齿轮箱系统振动噪声（NVH）分析；⑥箱体柔性分析及强度、模态计算；⑦行星齿轮设计校核和均载分析；⑧齿轮接触应力和齿根弯曲应力计算；⑨齿轮修形与修形参数优化；⑩齿轮传动系统效率计算与分析。

7. 赛玛特（SMT）公司

赛玛特是一家专门从事传动系统设计、开发和制造技术研究和服务的国际知名公司，在传动系统设计、开发和制造方面均具有较为独特的技术方法，能够对涉及这些领域的关键技术难题提供有效的解决方案。该公司拥有专门研究机构作为研发基地和技术支持，包括齿轮技术中心、热处理实验室、试验台架工厂等。其总部设在英国诺丁汉，分支机构遍及欧洲、中国、北美以及韩国等地。其在我国有北京和上海两家分公司，并先后与重庆青山、万里扬等汽车变速器生产企业进行技术合作，取得了较好的经济效益。其开发的MASTA软件融入了赛玛特公司的多项专门技术，能帮助设计人员设计轻量化、低噪声、长寿命的齿轮箱，并快速进行认证所需的分析。MASTA软件通过从设计、开发到制造的全过程模拟，实现了传动系统设计—开发—制造的同步进行，最大限度地用软件手段优化了产品设计与制造，大大缩短了产品研发周期。赛玛特公司先进的设计分析理念以及世界一流的技术，已得到全球众多传动系统制造企业的高度认可，其技术领先、功能强大的MASTA软件在传动系统有着广泛的应用。

8.KISSsoft AG公司

KISSsoft AG公司于1988年在瑞士成立，其开发的KISSsoft软件已成功商业化应用25年，拥有超过1 400个企业用户和100个学校科研机构用户。KISSsoft软件是齿轮设计、齿轮传动系统设计及轴、轴承设计的专业工具，是目前全球范围内应用的一款齿轮正向设计软件。EES KISSsoft公司是负

责 KISSsoft 软件在亚洲区市场推广和销售的公司，并提供专业的机械传动设计制造咨询服务。该公司与苏州索科精密科技有限公司（SEAKOU Precision Technology Co. Ltd）建立了战略合作伙伴关系，双方携手成立 KISSsoft China，负责中国区 KISSsoft 软件的销售、培训及技术支持。近几年，KISSsoft 软件在我国取得了很好的市场应用。

第 4 章

我国齿轮产业与国外先进国家的比较

4.1 产业发展阶段和技术水平的比较

欧美发达国家最早经历工业革命，经过200多年的发展，技术积累相当雄厚。目前，无论齿轮的设计、制造、测量技术还是加工设备的开发能力均处于世界领先地位。汽车自动变速器、5MW以上风电增速器、核电火电用大功率调速齿轮箱等高端齿轮产品市场均牢牢掌握在欧美国家的齿轮制造商手中。据统计，德国齿轮产品年生产量的一半用于出口，这其中还不包括用于德国国内汽车（如奔驰、宝马、大众等）、工业装备配套再出口的部分。在加工设备方面，齿轮机床是机床工业公认的技术含量最高、零部件最多、结构最复杂的产品之一，欧美齿轮机床制造企业的总体制造水平在加工精度、寿命、精度稳定性、数控技术应用等方面仍具有较大的领先优势。如德国普发特公司、瑞士莱斯豪尔公司的圆柱齿轮滚齿、磨齿机等，美国格里森公司、德国克林贝格公司（含原瑞士奥利康）的弧齿锥齿轮铣齿、磨齿、研齿机以及齿轮测量中心在国际上仍占据着显著的优势地位，把持着高端机床市场。在齿轮技术方面，虽然欧美发达国家处于领先地位，但基础研究从没间断过。如：英国和德国，一直在针对不同齿轮材料进行许用应力值的研究；在载荷分布计算方面，引入了齿轮轮体扭转和弯曲，以及加工误差的影响，制订了齿轮箱刚度与阻尼、齿轮刚度与阻尼特性的计算方法。

在近十年国民经济快速发展的带动下，我国齿轮产业得到了快速发展，不少齿轮产品达到或接近国际先进水平，但仍有相当大部分齿轮产品与国外存在较大差距。目前，我国齿轮产品正经历从低端向中端的转变，已经出现少量的高端产品。但是总体上讲，我国的齿轮产品还不能满足重点行业和重点工程的配套要求，例如汽车自动变速器、核电等大型能源装备、高速机车、大型船舶、大型工程机械、钻井平台升降装置等。这些齿轮及齿轮箱的制造已经成为制约我国部分重大装备研制的瓶颈问题。

4.1.1 我国齿轮行业的发展历程

齿轮产品是机械工业的关键基础件，绝大部分机械成套设备的主要传动部件都是齿轮。齿轮行业是我国所有生产齿轮产品的企业的总称，齿轮产品包括各种齿轮、蜗轮以及由齿轮、蜗轮组成的各种减速器、增速器、车辆后桥、齿轮泵等传递运动、动力或输送介质等的机械设备和装置。

在计划经济的体制下，我国的齿轮企业长期被分散在原机械工业部的七个工

业局与其他八个工业部的相关部门中管理，条块分割、部门所有阻碍了齿轮产品的标准化、专业化、市场化发展。

我国自改革开放以来，齿轮行业获得了快速的发展。20 世纪 80 年代到 90 年代，我国市场经济飞速发展，各工业部门进行了结构调整，齿轮产品的生产、配套、销售打破了原有的部门界限，专业化生产迅速发展。以市场为导向，按照市场规律形成了车辆齿轮与工业齿轮两大体系。

经过几十年的发展，我国齿轮产品制造业已经成为门类齐全、拥有 1 000 多家上规模的制造企业、达到近 2 000 亿元市场的一个大产业。

4.1.2 我国齿轮行业的发展现状

“十一五”末期，我国齿轮制造业年销售额达到 1 780 亿元，在世界行业排名中达到世界第二。2006—2010 年新增设备约 10 万台，即每年用于新增设备投资约 60 亿元，新购机床 2 万台，每台平均单价 30 万元。到 2010 年，我国齿轮制造业约有各类机床总数约 40 万台，其中数控机床 10 万台，数控化率为 25%（高于机械制造全行业平均值的 17%）。

我国齿轮制造业与发达国家相比还存在自主创新能力不足、新品开发慢、市场竞争无序、企业管理薄弱、信息化程度低、从业人员综合素质有待提高等问题。现阶段齿轮行业应通过市场竞争与整合，提高行业集中度，形成一批拥有几十亿元、5 亿元、1 亿元资产的大、中、小规模企业；通过自主知识产权产品设计开发，形成一批车辆传动系（变速器、驱动桥总成）牵头企业，用牵头企业的配套能力整合齿轮行业的能力与资源；实现专业化、网络化配套，形成大批有特色的工艺、有特色的产品和有快速反应能力的名牌企业；通过技改，实现现代化齿轮制造企业转型。图 4-1 所示为 2005—2008 年我国齿轮市场规模示意图（资料来源：《中国机械通用零部件工业年鉴》2009 年版）。

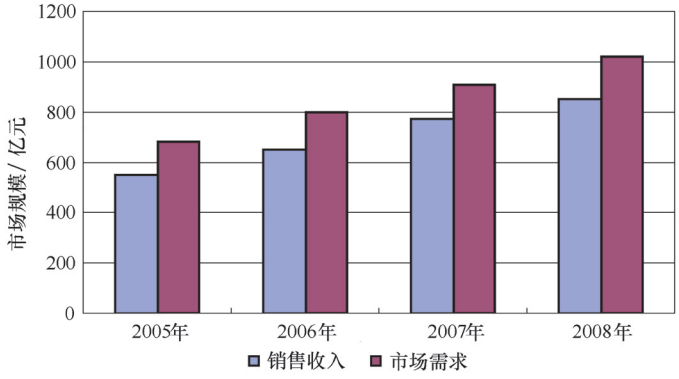


图 4-1　2005 — 2008 年我国齿轮市场规模示意图

从产品结构来看，齿轮产品的用户中汽车行业居第一位，占 36% 以上；其次是农业机械，占 10.3%，工程机械占 5.8%，摩托车占 5.3%。车辆齿轮共占到齿轮产品总量的 60% 左右。水泥建材、起重运输、矿山机械和冶金设备等合计约占 15%。齿轮应用的行业分布状况可参考图 4-2（资料来源：《中国机械通用零部件工业年鉴》2009 年版）。

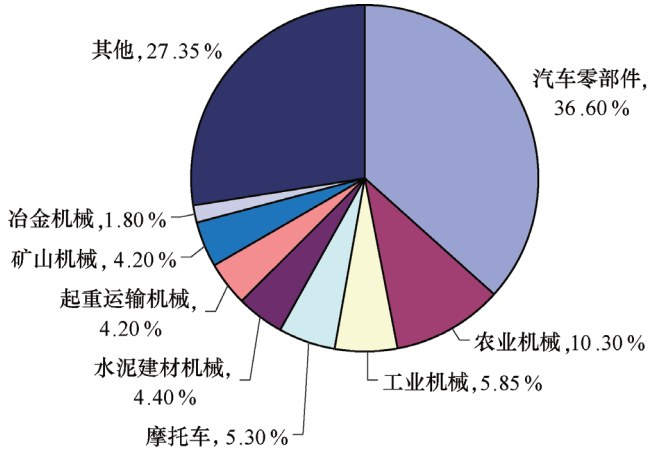


图 4-2　齿轮应用的行业分布状况

4.1.3　齿轮产品的分类

按照产品用途，我国齿轮产品大体上可以分为三大类，即车辆齿轮、工业齿轮、齿轮加工和试验设备，见表 4-1。

表 4-1　齿轮产品分类

分类	市场份额	品种	应用领域
车辆齿轮	60%	车辆变速总成	汽车、摩托车、工程机械、农业机械、军用车辆
		车辆驱动桥传动总成	
工业齿轮	38%	工业通用齿轮（包括各种形式的变速器、变速动力总成）	冶金、矿山、电力、水利、建材、船用、航空、起重、运输等行业
		工业专用齿轮（包括各类成套机械设备配套的大型传动装置、工业特种齿轮传动产品及零部件）	
齿轮加工和试验设备	2%	齿轮机床、刀具、量具、试验设备等	各类齿轮的加工和试验

1. 车辆齿轮

车辆齿轮在我国齿轮市场中占比最重，总需求额达到约 1 000 亿元，约占全国齿轮市场的 60%。车辆齿轮包括为汽车、摩托车、农用运输车、农业机械、工程机械配套的大批量生产的齿轮。通常每辆汽车中有 18 ～ 30 个齿轮，齿轮的质量直接影响汽车的噪声、平稳性及使用寿命。目前我国已成为世界第一大汽车生产国，强大的汽车工业必然需要强大的齿轮制造业支撑。

车辆齿轮的特点是齿轮规格尺寸范围变化不大，产品产量大，易于组织专业化、规模化生产。近十年来，我国齿轮生产企业已经打破原有汽车、工程机械、农业机械、军工等按行政归属划分产品的界限，正在按照市场需求调整产品结构，许多原来的农业机械齿轮生产厂、军工企业已改产汽车齿轮、工程机械齿轮、摩托车齿轮。民营企业也加入了汽车、农用运输车、拖拉机、摩托车齿轮的生产行列，形成了一厂多个产品品种的适应市场的产品结构。车辆齿轮产品类型见表 4-2。

表 4-2　车辆齿轮产品类型

车辆齿轮类别	产品类型
汽车齿轮	变速器总成
	分动器
	取力器
	差速器
	圆柱齿轮
	同步器及齿环
	弧齿锥齿轮
	直齿锥齿轮
摩托车齿轮	齿轮组件
	齿轮零件
农用运输车齿轮	变速器组件
	齿轮零部件
农业机械齿轮	拖拉机变速器
	联合收割机齿轮
	割草机变速器
	圆柱齿轮
	同步器及齿环

（续）

车辆齿轮类别	产品类型
农业机械齿轮	弧齿锥齿轮
	直齿锥齿轮
	柴油机齿轮
工程机械齿轮	动力换挡变速器
	转向驱动桥
	圆柱齿轮
	弧齿锥齿轮
	直齿锥齿轮

近几年我国汽车齿轮的产品结构与企业类型变化较大，例如，二汽集团内部齿轮箱与车桥厂，从总厂剥离为子公司，产品也由完全供集团总装厂到面向社会提供配套或配件，增强了企业参与市场竞争的活力。农业机械齿轮厂随着农用运输车市场的发展，多数转为生产农用运输车齿轮。如常州飞天集团（原常州齿轮厂）已经发展成我国最大的农业机械与农用运输车齿轮厂，产值逐年增加。

目前，在摩托车齿轮领域，由于引进了先进的制造和管理技术，我国高端摩托车齿轮制造水平已接近或达到国际上发达国家摩托车齿轮制造水平，基本实现了滚齿－插齿－剃齿－热处理工艺，将齿轮的变形量控制在满足摩托车齿轮承载能力和噪声性能要求的范围内，热处理后不需要进一步精加工，产品质量基本能达到设计标准要求。但我国大多数摩托车齿轮生产企业生产的齿轮产品尚达不到标准要求，主要问题是齿轮热处理变形不稳定，而且难以控制，齿面修形技术缺乏依据，修形设计与实际应用不能合理匹配，难以满足摩托车的高水平使用要求。

2. 工业齿轮

工业齿轮是指为冶金、建筑、石油、化工、矿山、电力、轻工、纺织、铁路、航空、船舶等各工业所用的成套机械装备配套的齿轮与齿轮箱。其特点是单件、小批量、多品种、制造难度的差别大，精度从 10 级到 1 级，齿轮模数为 0.004 ～ 100 mm；齿轮直径为 1 mm～ 150m，传递功率可达数十万千瓦，转速可达每分钟几十万转，最高的圆周速度可达 300m/s。工业齿轮因其多用途、多品种导致生产厂分散。工业齿轮的主要产品类型见表 4-3。

表 4-3　工业齿轮的主要产品类型

工业齿轮类别	产品类型
工业通用齿轮	渐开线圆柱齿轮减速器
	圆弧圆柱齿轮箱
	圆柱锥齿轮减速器
	蜗杆减速器
	行星齿轮箱
	摆线针轮减速器
	谐波传动减速器
	机械无级变速器
工业专用齿轮	高速齿轮
	船用齿轮
	机车齿轮
	石油化工机械齿轮
	冶金机械齿轮
	煤矿机械齿轮
	建材机械齿轮
	轻工纺织机械齿轮
	机床及其他散件齿轮
齿轮相关产品	齿式联轴器
	齿轮泵
	齿轮润滑油
	电动滚筒

工业通用齿轮包括了各种齿形与各种类型的通用变速器，它适用于大批量系列化生产和销售，为各行业、各种生产线机械成套装备配套产品。

工业专用齿轮主要指为特定工作机械配套的专用减（增）速箱，或者是与整机合为一体的变速传动系统。

齿轮相关产品是指具有齿形的齿式产品，如齿式联轴器、齿形泵、螺杆压缩机等，或与齿轮产品相关的其他产品，如润滑油等。近年来，齿轮相关产品的专

业化、系列化生产已有较大发展。

4.1.4 齿轮产品的技术水平

近十年来我国齿轮行业发展迅猛，部分齿轮产品已达到或接近国际先进水平，但仍有相当一部分齿轮与变速器产品与国际先进水平存在明显差距。

1）汽车手动变速器（含重、中、轻、微）、工程机械换挡变速器、小型和中型农业机械变速传动机构、摩托车齿轮、轿车变速器等，已经基本立足国内生产，基本满足了主机厂的配套需要，已有部分齿轮或变速器实现出口。但目前汽车自动变速器仍被进口产品控制。

2）车辆驱动桥、主从动弧齿锥齿轮、直齿锥齿轮及轮边减速机等产品基本能满足国内配套需要。

3）在工业通用变速器领域，产品系列化、模块化、质量与技术水平在2004—2011 年实现了突飞猛进的发展。我国企业生产的部分产品达到了国际水平，形成了与国际品牌的激烈竞争，有部分产品已经出口欧美。

4）对于高速重载齿轮箱，我国有以南京高精齿轮集团有限公司、郑州机械研究所、重庆齿轮箱有限责任公司、杭州前进齿轮箱集团有限公司等为代表的生产企业，这些企业通过早期的技术引进、消化、创新，基本具备了为我国大型成套设备与船舶工业进行配套的能力，但中高端产品仍依赖进口。

5）对于特殊、专用齿轮传动产品，如非圆齿轮、塑料齿轮、粉末冶金齿轮与小模数齿轮等，我国没有形成龙头企业，企业的技术潜力尚待发挥。

6）我国具备风电齿轮箱生产能力的企业较少，行业集中度较高。2008 年年底，我国境内风电机组齿轮箱制造商已有 10 多家。已经进入批量生产阶段的企业主要有：南京高精齿轮集团有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司、华锐风电科技有限公司等。在运行可靠性方面，国产风电齿轮箱与国外一流产品相比还存在一定差距。

7）对于齿轮加工和试验装备，2004—2011 年我国民营企业发展较快，国有企业发展较慢。大部分国有齿轮加工和试验装备制造企业的装备可靠性指标提高得较慢，致使齿轮行业大部分的主导精加工装备仍以进口产品为主。

总体上讲，我国齿轮产品正在经历从低端向中端的转变，尽管已经出现少量的高端产品，但是我国齿轮产品还难以满足重点行业和重点工程的配套要求，仍呈现出中低端市场竞争激烈，高端市场产能严重不足，进出口逆差逐年增大的局面。

4.2 发展规模的比较

4.2.1 国际市场规模

齿轮行业是机械基础件中规模最大的行业之一。欧、美、日等技术强国不但牢牢把持着本国国内的市场份额，而且也占据着国际贸易中市场份额的绝大部分。目前，在国际市场上，规模较大、知名度较高的齿轮箱制造商包括德国的弗兰德、SEW、伦茨、诺德，意大利的邦飞利、布雷维尼、康迈尔，日本的住友，英国的戴维布朗，比利时的汉森，美国的福克等公司，它们占据了国际工业齿轮市场 20% 以上的市场份额。从工业齿轮产品的销售额来看，弗兰德公司约为 10 亿美元，SEW 公司约为 9 亿美元，伦茨公司约为 2.5 亿美元，邦飞利公司约为 2.4 亿美元，布雷维尼公司约为 2.4 亿美元，福克公司约为 2 亿美元，住友、诺德、汉森等公司分别约为 1.6 亿美元、1.4 亿美元和 1.2 亿美元。从市场集中程度来看，工业齿轮行业集中度较低，前十大制造商市场份额合计约 20%，第一大制造商弗兰德公司的市场占有率仅为 6.3%。随着经济全球化、贸易国际化的进一步发展，这些企业正以独资、合资、合作生产等方式把产品直接转移到他国生产，不断扩大国际市场份额，例如，德国的 SEW、弗兰德、采埃孚公司和日本的住友公司等均在我国建立了生产基地。部分国际知名齿轮公司的市场份额见表 4-4。

表 4-4 部分国际知名齿轮公司的市场份额

序号	公司名称	市场份额（%）
1	弗兰德	6.3
2	SEW	5.6
3	伦茨	1.6
4	邦飞利	1.5
5	布雷维尼	1.5
6	福克	1.3
7	住友	1.0
8	诺德	0.9
9	汉森	0.8

4.2.2 我国产业情况

“十一五”期间我国齿轮行业市场规模由 680 亿元增长到 1 450 亿元，平均增长速度超过 20%，五年间增长了一倍多，销售规模上亿元企业超过百家，行业集中度明显提高。截至 2011 年，我国齿轮行业的销售规模已超过 1 700 亿元，在世界排名中位列第二。“十二五”期间，我国将通过进一步加强产品创新，行业内部调整，重点发展齿轮行业龙头企业，力争世界排名第一。我国齿轮制造业已经形成门类齐全、拥有 1 000 多家较大规模制造企业的大产业，其中骨干企业 300 余家。我国齿轮行业的基础是国有企业，近几年来，经过股份制改造，许多此类企业得到很大发展，例如南京高精齿轮集团有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司、杭州前进齿轮箱集团有限公司、上海汽车股份有限公司汽车齿轮总厂和陕西法士特齿轮有限责任公司等，已成为齿轮行业内的骨干企业，年销售额都在 20 亿～ 110 亿元之间。民营股份制企业的数量也已占整个行业的 80% 左右，代表企业有宁波东力传动设备有限公司、浙江双环传动机械股份有限公司、浙江中马机械有限公司、六安江淮汽车齿轮制造有限公司和杭州万杰减速机有限公司等。

就市场需求与生产规模而言，中国齿轮行业在全球排名仅次于美国，居世界第二位。

齿轮行业是机械基础件中规模最大的行业，也是充满竞争的行业，国内产品市场份额比较分散。目前，我国齿轮行业重点企业的产量、销售额占全行业的 75% 以上，现在年销售额超过 1 亿元的企业已有 150 多家，还有一批年销售额超过 10 亿元的企业。十年来我国齿轮行业总产业规模如图 4-3 所示，2009 年我国齿轮行业结构如图 4-4 所示。

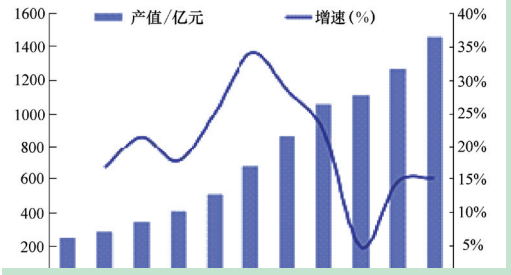


图 4-3 十年来我国齿轮行业总产业规模

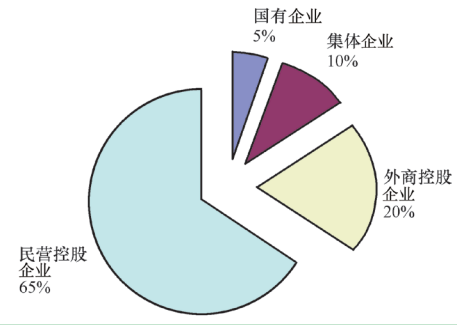


图 4-4 2009 年我国齿轮行业结构

1. 我国齿轮行业工业总产值和综合指标排行榜

我国齿轮行业2009年工业总产值前十位企业排名见表4-5，2009年综合指标前十位企业排名见表4-6。

表4-5　2009年我国齿轮行业工业总产值前十位企业排名

排名	企业名称	工业总产值/万元
1	陕西法士特齿轮有限责任公司	780 722.00
2	重庆齿轮箱有限责任公司	362 119.00
3	大连华锐股份有限公司通用减速机厂	345 588.05
4	杭州前进齿轮箱集团有限公司	201 299.00
5	重庆青山工业有限责任公司	184 277.00
6	南通振华重型装备制造有限公司	140 000.00
7	江苏泰隆机械集团公司	133 492.20
8	东北特钢集团山东鹰轮机械有限公司	128 800.00
9	南方汽车四川建安车桥分公司	124 654.00
10	宁波东力传动设备股份有限公司	120 015.00

注：数据来自《2010中国齿轮工业年鉴》。

表4-6　2009年我国齿轮行业综合指标前十位企业排名

排名	企业名称	综合效益指数（%）
1	大连华锐股份有限公司通用减速机厂	741.61
2	南京高精传动设备制造集团有限公司	450.95
3	太原重工股份有限公司齿轮传动分公司	388.83
4	江苏太平洋精锻科技股份有限公司	321.41
5	陕西法士特齿轮有限责任公司	314.84
6	重庆市蓝黛实业有限公司	297.76
7	宁波东力传动设备股份有限公司	288.40
8	南京金鑫传动设备有限公司	268.83
9	郑州机械研究所	258.09
10	万里扬集团有限公司	249.19

注：数据来自《2010中国齿轮工业年鉴》。

2. 我国部分上市齿轮制造商

我国齿轮制造业已经形成门类齐全、拥有 1 000 多家较大规模制造企业的大产业，其中骨干企业 300 余家，年产值亿元以上的企业百余家。

我国齿轮行业的基础是国有企业，近几年，经过股份制改造，许多此类企业得到很大发展。例如，南京高精齿轮集团有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司、杭州前进齿轮箱集团有限公司、上海汽车股份有限公司汽车齿轮总厂和陕西法士特齿轮有限责任公司等，已成为齿轮行业内产值在 20 亿元以上的骨干企业。

民营股份制企业的数量已占整个行业的 80% 左右。代表企业有宁波东力传动设备有限公司、浙江双环传动机械股份有限公司、浙江中马机械有限公司、六安江淮汽车齿轮制造有限公司、杭州万杰减速机有限公司等。民营企业在行业中占有越来越重要的地位。

独资、合资企业发展迅速，例如德国的 SEW、弗兰德、采埃孚公司和日本的住友公司等。

（1）南京高精传动设备制造集团有限公司　南京高精传动设备制造集团有限公司成立于 1969 年；1976 年改扩建为专业化齿轮生产厂家，并更名为南京高速齿轮箱厂；2007 年在中国香港上市，股票名称为“中国高速传动”。该公司现有职工近 5 000 人，工程技术人员占职工总数的近 20%，教授级高级工程师 8 人，享受政府津贴的专家 4 人。该公司目前拥有总市值约 280 亿元，2011 年销售收入达 111.85 亿元。

该公司主要产品包括建材专用齿轮箱、冶金专用齿轮箱、风力发电齿轮箱、铁路机车齿轮箱、石化专用齿轮箱等。其产品覆盖建材、冶金、发电、化工、矿山、起重、能源、国防等众多领域，在国内高速重载齿轮箱和风电齿轮箱等市场上占据优势。

其下属控股子公司南京高速齿轮制造有限公司，占据国内较大风力发电主传动及偏航变桨传动设备市场；注册资金 9 亿元，2003 年 7 月 8 日成立；占地面积 658.5 亩（1 亩 =666.6̇㎡），拥有 27 万㎡联合厂房，其中 4 万㎡为恒温恒湿防振车间。现有员工 2 437 人，其中工程技术人员 295 人。

其下属南京高精齿轮集团有限公司现有员工 1 265 人，其中工程技术人员占 30% 以上，是江苏省高新技术企业，目前获国家专利的产品共有 50 多项（其中发明专利 8 项）。该公司进口的 6m 磨齿机是国内最大直径的数控磨齿机。目前该公司的工业齿轮箱功率最大已达到 55 000kW，转速最高达到 67 000r/min，线

速度最大达到 176m/s，齿轮精度最高达到 3 级，输出转矩最大达到 750t·m。

该公司目前已获国家授权专利共 112 项，先后百余次获得国家和省市科技进步奖、优秀新产品奖、新产品证书、高新技术产品认定证书、高新技术企业认定证书等。

（2）重庆齿轮箱有限责任公司　重庆齿轮箱有限责任公司（以下简称重齿公司）隶属于中国船舶重工股份有限公司（股票代码：601989），位于重庆市江津区。该公司前身为国营永进机械厂，始建于 1966 年，1982 年更名为四川齿轮箱厂，1997 年进行了公司改制。公司资产总额 52 亿元，占地面积 90 余万㎡，拥有员工 3 000 余人，具备各种大型高精度生产设备 1 400 余台（套）。

该公司主要产品包括风力发电增速齿轮箱、偏航变桨减速齿轮箱、船用齿轮箱、建材齿轮箱、冶金齿轮箱、火电齿轮箱、核电齿轮箱、轨道交通齿轮箱、工程机械齿轮箱、海洋平台升降系统、联轴器、减振器、汽车齿轮等，产品涵盖国防、能源、交通运输和特种装备等众多领域，并在国内硬齿面齿轮箱、船用齿轮箱和风电齿轮箱等市场上占有优势，产品远销欧美、非洲、亚洲、中东等地区。

该公司技术中心为“国家认定企业技术中心”，工程技术人员占职工总数的 25%，研究员级高级工程师有 19 人，享受国务院津贴的专家有 12 人。该公司一直致力于自主创新，不断强化核心技术的培育和提升，利用现代设计分析手段不断开发产品新技术，形成了自己独特的设计制造技术，在高精度硬齿面齿轮设计制造技术、高低速重载齿轮传动装置设计制造技术等方面始终处于国内先进水平。该公司先后承担了多项国家科研项目，并多次获得国家科技进步奖、优秀新产品奖等。该公司年自主设计开发新产品超过 100 余项，目前已获国家授权专利共 116 项，其中发明专利 8 项，制定国家和行业标准 18 项，获国家和省部级科学技术进步奖二、三等奖 29 项。“重齿”牌减速机、“重齿”牌船用齿轮箱为我国名牌产品。

（3）杭州前进齿轮箱集团股份有限公司　杭州前进齿轮箱集团股份有限公司是我国专业设计、制造齿轮传动装置和粉末冶金制品的大型重点骨干企业，是国家高新技术企业。该公司前身为杭州齿轮箱厂，创建于 1960 年，2001 年经国家批准实施“债转股”改制，成为国有多元投资的有限责任公司，2008 年完成股份制改制，整体变更为杭州前进齿轮箱集团股份有限公司，并于 2010 年 10 月在上海证券交易所上市。该公司位于杭州钱塘江南岸，占地面积约 63.4 万㎡，现有职工 2 600 余名，研发人员占职工总人数的 12%。该公司现有控股子公司 16

家，参股公司 3 家；并拥有国家认定企业技术中心，国家级博士后工作站、船用齿轮箱和粉末冶金 2 个部级二类研究所及浙江省齿轮传动与摩擦材料研究重点实验室和 15 个专业研究所。该公司综合实力较强，被列为“中国工业行业排头兵”企业和“中国机械工业 100 强”、中国大企业集团竞争力 500 强企业。

该公司主要产品包括：船用齿轮箱及传动和推进系统，用于运输船、渔船、游艇、游船等多种船类，市场占有率为 65%；工程机械变速器及驱动桥，用于装载机、平地机、推土机、压路机、货车、客车及特种车辆等，目前工程机械变速器市场占有率稳定在 20% 左右，重型车辆市场占有率为 3% 左右；风电增速齿轮箱，主要适用于 250 ～ 2 000kW 的风电设备；摩擦片，用于齿轮箱、变速器及制动器。

2009 年该公司主营业务收入 17.58 亿元，其中船用齿轮箱为 11.4 亿元，工程机械类为 5.87 亿元。2011 年该公司主营业务收入 23.7 亿元。杭州前进齿轮箱集团股份有限公司拟扩张产能见表 4-7。

表 4-7　杭州前进齿轮箱集团股份有限公司拟扩张产能

项目名称	投资总额 / 万元	建设周期
(1) 年产 100 套船舶推进器 (2) 800 台高精船用齿轮箱	9 396.0	2 年
年产 1.2 万台电液控制工程传动装置	22 965.7	2 年
年产 2 000 套风电增速齿轮箱	38 631.1	2 年
重型及特种车辆变速器	3 000.0	2 年

该公司拥有 8 项商标权；专利 80 多项，其中发明专利 7 项，实用新型专利 69 项，外观设计专利 4 项。

（4） 宁波东力传动设备股份有限公司　宁波东力传动设备股份有限公司创立于 1998 年，现有总资产 20 亿元，注册资本 44 562.5 万元，生产基地分设于宁波国家高新区、江北工业园区、江东仇毕工业区、杭州湾新区，总占地面积 60.5 万 m^2，拥有现代化标准厂房面积 38.7 万 m^2，现有员工 1 400 余人。2007 年 8 月，该公司成功公开发行股票（证券简称：东力传动，证券代码：002164），成为齿轮行业最早在 A 股上市的企业。

该公司以工业齿轮和工业电动机为核心业务，以大功率重载齿轮箱、模块化减速器、模块化减速电动机、风力发电齿轮箱和变频、辊道、冶金电动机为核心发展产品。

根据该公司提供资料，大功率重载齿轮箱产能为9 500t，模块化高精减速器产能为6 300t。

该公司建有省级高新技术研究开发中心，坐落于宁波国家高新区研发园。目前，该中心汇集了一大批国内优秀的传动设备研究人才。近年来，东力公司作为组长单位负责起草了《中国齿轮行业中小功率工业通用减速箱》系列标准，负责起草了《高效率三相异步电动机技术要求》《YEJ系列电磁制动三相异步电动机技术条件》《YCJ系列齿轮减速三相异步电动机技术条件》等多项国家和行业标准。近年来，东力公司共获各类国家专利70余项，开发研制出模块化减速电动机、模块化减速器、大型智能化减速器、柔性液压行星减速器、深水双向惯流泵专用行星齿轮系列减速器、立式磨煤机专用锥行星齿轮系列减速器等多项重点新产品。

该公司建有国家一级计量检测中心，拥有德国蔡司、克林贝格、斯派克等公司生产的三坐标检查机（2 500mm×2 000 mm×1 500 mm）、齿轮测量中心（P100）、弧齿锥齿轮测量仪、直读光谱仪、万能材料试验机、超声波无损检测仪、磁粉无损检测机、金相显微镜等一批高精检测设备，以及德国西门子公司生产的型式试验台（3MW）、电机测试中心、耐压试验台、出厂试验台等试验设备。

该公司产品广泛应用于冶金、起重、矿山、电力、石化、建材、轻工、筑路、制糖、环保等行业，产品出口意大利、乌克兰、巴西、阿根廷、孟加拉、越南、泰国、印度、阿曼、莫桑比克等国家和地区。

（5）浙江双环传动机械股份有限公司　浙江双环传动机械股份有限公司成立于2005年8月，其前身是玉环县振华齿轮厂，始创于1980年。该公司于2010年9月10日在深圳交易所上市，股票代码为002472。

该公司现有员工2 500余人，占地面积为59万㎡，建筑面积为35万㎡。该公司在浙江、江苏两地拥有四个生产基地，分别坐落在玉环县城关的南大岙厂区、玉环县机电工业园区、玉环宾港工业园区、江苏淮安楚州工业园区。该公司生产的产品主要涉及汽车、工程机械、摩托车、电动工具四大领域，具有年生产量超3 500万件，年产值超过15亿元的齿轮散件生产能力。

该公司拥有美国格里森公司生产的数控高效滚齿机，德国格里森公司生产的ZH125强力珩齿机，德国格里森－胡尔特公司生产的剃刀磨床，德国卡普公司生产的高精度KAPP磨齿机，日本清和公司生产的数控高效滚齿机，法国ECM公司生产的低压真空渗碳淬火炉、YK7232和YK7236型蜗杆磨齿机、YH601型数控弧齿锥齿轮铣齿机、热处理连续生产线等国内外先进设备2 000多台。

该公司拥有的检验、测量和试验设备有：德国克林贝格公司生产的全自动数控齿轮测量中心 P26、P40C，美国生产的全自动数控齿轮测量中心，德国蔡司公司生产的三坐标测量机，英国泰勒公司生产的圆度仪、轮廓粗糙度仪，美国热电公司生产的 ARL3460 光谱分析仪、滚刀检查仪、JX13 万能工具显微镜、理化检测设备、无损检测机等。

该公司非常重视内部管理水平的提高，引入日本丰田公司的生产管理模式，并长期打造精益型企业，取得了明显效果。该公司在抓精益生产的同时，强调企业信息化建设，2006 年开始引入 ERP 管理，2007 年正式上线，目前，该公司已经全面应用 U9、e-HR、CRM、PDM、DES、CAPP、OA 等信息化管理工具。

4.2.3 进出口分析

我国齿轮产品进出口的总体情况是有进有出，进口量远大于出口量。2011 年各类齿轮产品进口额 124.9 亿美元，各类齿轮产品出口额 38.4 亿美元，逆差额高达 86.5 亿美元，这说明我国齿轮行业存在严重的贸易逆差。

我国齿轮行业的中低端产品产能过剩、竞争激烈、效益低，齿轮产品进出口逆差逐年增高，高端产品受制于人。造成逆差的根本原因在于行业创新能力薄弱，关键齿轮产品的设计制造技术不过关，产品的可靠性较低，使得国内汽车、工程机械、重型机械和重点工程的配套用齿轮减（变）速器的进口量大幅度增加。表 4-8 所列为 2011 年机械通用零部件行业进出口情况。

表 4-8 2011 年机械通用零部件行业进出口情况

项目	年销售额 / 亿元	同比增长率（%）	进口额 / 亿美元	同比增长率（%）	出口额 / 亿美元	同比增长率（%）
齿轮	1 780	23	124.9	17	38.4	41
紧固件	680	21	31.8	11	48.7	33
链条	176	19	2.9	26	10.6	35
弹簧	174	20	5.5	2	2.4	26
粉末冶金	102	22			0.8	0
传动联结件	125	18	4.4	25	4.0	42

注：资料来自《2011 年度机械通用零部件行业经济运行分析》。

从2011年四个季度的数据来看，齿轮行业经济总体运行呈现波浪式发展态势，行业经济增长的速度与质量、结构和效益的关系不断趋于改善。

在2010年国家投资4万亿元拉动内需的续势和国家装备制造业强势发展的带动下，2011年一季度尽管受春节等节假日的影响，但本行业企业的产品加工订单仍保持较为饱满，不少企业仍保持常规生产日的工作。二季度行业仍继续保持良好的发展态势，作为主导机械通用零部件行业经济运行总量的齿轮行业实现两位数的增长。从三季度开始，在国家二季度先后开始的宏观政策的调整、日本地震后期影响等因素逐步显现，再加上原材料、劳务成本、能源支出的费用加大等影响，行业经济增长率明显下降。四季度国家实施经济结构战略性调整，在增长逐步趋稳、通胀总体可控的稳健发展政策下，行业经济运行表现平稳发展，并实现2011年经济发展圆满收官。

1. 进口分析

从2011年进口的齿轮产品来看，进口额最大的是各种车辆变速器及其零件，进口额合计达到88.5亿美元，占我国齿轮进口总额的71%。其余为进口的工业齿轮。

从进口国别来看，2011年我国共从70多个国家和地区进口了齿轮产品，国别分布相当广泛，主要国家包括日本、德国、韩国和美国等，其中日本占44.5%，德国占16.9%，韩国占8.3%，美国占6.8%，法国占4.2%，如图4-5所示。

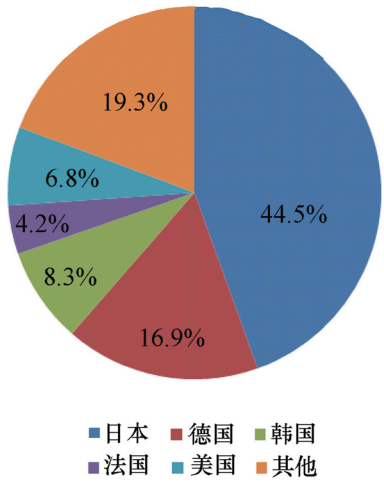


图4-5　2011年我国齿轮产品主要进口国家及比例

2. 出口分析

从产品上看，我国齿轮的出口仍以较低端的工业齿轮为主，各种车辆齿轮产品仅占很小比例。

从出口企业的类别来看，外企所占比例最大，占 31%，国企占 28.7%，民企占 21.4%，中外合资企业占 12.7%，其他占 6.2%，如图 4-6 所示。

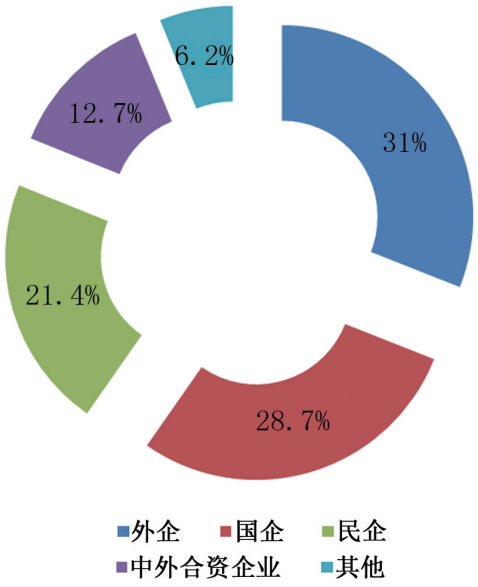


图 4-6　2011 年我国齿轮产品出口企业类别比例

从产品出口国别来看，绝大多数产品都出口到发达国家或地区。其中，出口到美国占 23.6%，日本占 15.6%，意大利占 7.9%。一些发达国家从我国进口低端产品，而复杂的高端产品则自己生产，它们利用我国廉价的劳动力和资源，把我国当做低端齿轮产品的加工厂。

从生产区域来看，华东地区齿轮发展最快，其出口的销售额占 53.3%。其他地区依次为华北地区（19.1%）、西南地区（8.7%）、华中地区（8.1%）、西北地区（6.7%）、东北地区（4.1%）。2011 年我国齿轮产品生产区域出口的销售额比例如图 4-7 所示。

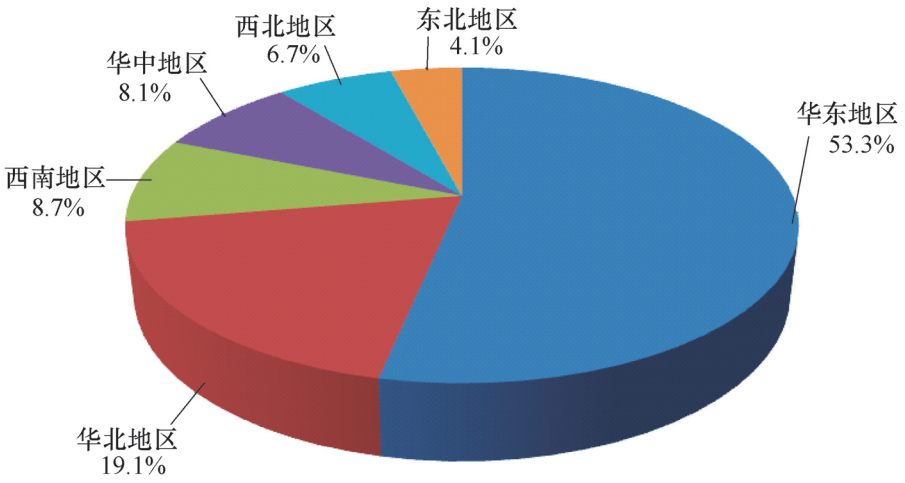


图 4-7　2011 年我国齿轮产品生产区域出口的销售额比例

4.3　管理方式和采取措施的比较

完善市场竞争机制和加强产品技术创新是齿轮行业发展的两个关键因素。在市场经济下，有效的市场竞争能够促使企业加强技术创新，提高产品质量；良好的质量又是产品在市场竞争中立于不败之地的法宝。

随着经济的发展，相当多的经济实体在市场竞争中快速发展，其经济实力与规模都不断扩大，进而扩张成为企业集团，齿轮行业也是如此。毫无疑问，企业集团的管理模式与其他形式的企业管理模式存在较大差异，而集团管理模式本身也因企业的规模、企业所处行业、企业所处发展阶段、企业管理手段、企业管理者风格的不同而有所差异；此外，不同经济环境背景和企业文化背景也会在一定程度上影响企业集团的管理模式。

在研究了美国、日本和德国一些企业后，我们不难发现，企业集团结构存在明显的多样性：在美国企业中，股东会、董事会、执行委员会或经理会在企业管理中各司其职，股票市场的约束起着重要作用，强调对经理人激励与约束的和谐；在德国企业中，重视监事会、管理监事会的双重领导作用和职工参与决策的功效，股东、职工与企业的关系密切；在日本企业中，在企业相互持股和主银行体制下，股权约束弱化，主银行约束占重要地位，经理主导倾向突出，股东、经理、职工与企业结成利益共同体。

4.3.1 科研管理及产品质量控制的比较

在科研和质量控制方面，经过长时间的发展，国外已经形成一套成熟的管理机制。德国的齿轮技术处于世界领先地位，产品深受客户信赖。这主要归功于德国各公司、企业十分注重产品质量和信誉，例如：德国的齿轮公差DIN 标准各项指标均比 ISO 国际标准严格；DIN 标准中对齿轮材料热处理后的性能要求也已有严格的规定，而各公司还在 DIN 标准的基础上，制定出比 DIN 标准更严、目标值更精确的企业标准。这种行业组织和企业共同的严格要求，均促使其产品质量更稳定。日本是齿轮技术强国的后起之秀，这与其有力的行业管理机制不无关系。日本机械学会计划部早期为便于科研活动的开展，设置了各种调查研究分科会，这些分科会是为了在一定的时期之内，集中调查研究解决某一方向问题而设置的，它们主要由产业部门（工厂）和学校等研究单位共同组成，采用日本流行的“产学协同”（ 即产业部门与学校合作 ）的方式进行研究。有关的参加工厂各派一名委员组成厂方委员会，厂方委员会主要负责有关问题的调查及实测资料的收集。研究部门一方的委员主要负责所收集资料的整理、分析及实验研究，写出研究成果报告书。厂方委员会包括全日本 60 ～ 70 家主要齿轮工厂及公司；研究部门一方的小委员会，则主要包括日本大学及有关单位研究齿轮的知名教授和专业人士。各分科会中研究一方的委员 20 多年来基本上无多大变化，形成了有权威的、较固定的研究班子。这种模式促使日本在短短的二三十年间迅速缩小了与欧美齿轮强国的技术差距。反观我国，虽说在科研项目的申报过程中，也提出了产学研结合的要求，但管理过于简单松散，与日本模式的比较还有相当大的差距，不能有效地促进我国齿轮技术的发展。

4.3.2 市场管理与行业组织的比较

对市场管理和规则的有效运用，是欧、美、日等发展本国齿轮行业的又一重要手段。例如在 20 世纪八九十年代，美国为夺回曾经失去的市场份额，除了组织跨国公司“走出国门”外，还通过与加拿大和墨西哥达成协议，建立北美自由贸易区以增加自己与国外（主要是欧洲和日本）对手进行市场竞争的实力，严守自己的阵地。当拥有 4 亿人口，年产值达 6 万亿美元的北美自由贸易区建立后，包括齿轮产品在内的外国机电产品很难进入美国市场。美国此举实质上是以“地缘经济”为纽带，将自己作为中心，与周围国家建立区域性经济、贸易集团，以阻挡其竞争对手国家的产品输入美国市场。而我国进入市场经济较晚，机制不健

全，这对我国齿轮行业的发展产生了很大的影响。例如：目前我国齿轮产业过于分散，市场竞争无序；齿轮产品处于产业链的中段，被强大的钢铁冶金企业与整机组装企业夹在中间；国际跨国集团利用我国企业同行是冤家的旧习，同业互不来往的特点，各个击破，互相压价，低价采购，造成分散的齿轮企业恶性竞争，使许多小企业难以形成自主创新的能力，处于争生存的尴尬局面；甚至有些企业测绘别家的产品，进行仿制。因此，为了积极参与与跨国公司的竞争，我国齿轮行业必须完善市场竞争机制，企业间也应加强产业链的合作、组织联盟或兼并重组，以提高齿轮企业的集中度。

相比之下，虽然近年来国内企业不断引进国外先进的管理模式，但是由于经济环境背景、企业文化背景等方面的不同，管理模式本土化还需要一段时间。同时，国内企业团队合作精神较弱，文件化、规范化管理度较低，企业技术决策权集于经营者；在基础研究、新产品开发、产品改进、生产工艺改进等技术活动方面，国内企业仍处于弱势，而且国内企业技术指导尚未延伸到客户和供应方。以上都是国内企业的不足之处。

为此，对内资企业我们建议：在产品开发方面，应注重提高产品技术含量，以拥有独自的技术和独具特色的产品；企业的技术活动不应局限于企业内部，而应延伸到供应方和客户；在实行各类责任制时，不应忽视团队的作用；决策时应发挥各决策主体的作用，避免一人说了算；在管理方法上，应注重规范化和文件化管理。内资企业只有认清自身的不足，学习先进且切合实际的管理经验，围绕提高产品的竞争力这一主题，不断提高技术管理水平，才能应对经济全球化的挑战。

4.4 政府与民间对齿轮产业发挥作用的比较

4.4.1 政府、民间对齿轮产业的作用

在齿轮行业的发展过程中，政府、行业及民间组织扮演着举足轻重的角色。政府的政策引导和支持着齿轮行业的发展方向，而行业和民间组织则起着联系政府和企业的桥梁纽带作用。在其他国家的齿轮发展历史中，都可见政府政策和协会组织的印记。

政府对产业管理的机构设置、管理制度和管理方法对一个国家的工业化进程将产生至关重要的影响。每一个国家工业的发展均离不开国家政策的强有力支持。例如，日本为推动工业化进程，甚至以法律为管理产业的基本手段。最

典型的是从 1956 年开始颁布的《机械工业振兴临时措施法》，原定实行五年，后因效果显著而一再延长。1971 年又颁布了《特定机械情报产业振兴临时措施法》。这些振兴措施法规有力地促进了机电工业的发展，使日本在短短的十年内机械工业出口额从 1956 年的 30.46 亿美元增加到 497.44 亿美元，就业增加 70 万人，振兴法的实施使日本发展成为先进的工业国。在日本的这次工业化过程中，齿轮工业也通过税收政策的优惠和国家对技术引进消化吸收的组织和赞助而得到迅速发展。对于美国，为保护本国齿轮工业，限制国外廉价齿轮产品涌入美国市场，美国齿轮制造协会甚至曾拟从进口齿轮可能对美国国家军工造成安全隐患影响的切入点进行调查，从法律条文上硬性规定，要求强行购买美国本国企业生产的齿轮产品，即主要从国家安全的角度考虑购买齿轮产品，而不仅考虑齿轮的价格因素。

我国目前处于经济转型期，齿轮工业正经历着巨大的机遇和挑战。机遇是我国经济的快速发展，并释放了巨大的市场空间，仅 2011 年市场需求值就已达到 1 500 亿美元；挑战则是诸多世界知名企业已经进入我国市场，并建立了生产基地，它们凭借品牌、装备、技术、资金和生产规模的优势，与国内的齿轮企业展开了激烈的竞争。我国齿轮行业整体竞争力不足，尚需结合国家政策，加强高端产品的研制能力。例如，“十二五期间”，我国齿轮行业应围绕国务院颁发的七大战略性新兴产业和十大领域重点工程，针对制约主机、行业发展的瓶颈，抓好重点产品及其关键技术的突破，实现节能环保及新能源汽车动力总成需要的自动变速器（AMT、DCT、EMCVT、HNCVT、6 ～ 8AT）及其关键零部件（行星排、金属带、锥轮锥盘、变矩器）的产业化，打造电控软硬件单元（TCU）及其核心元器件（电磁阀、传感器、电动机、执行机构）完整的产业链，加强抗疲劳制造、长寿命关键基础件课题研究及其产品应用（无应力集中制造与装配、轻量化、表面改性和润滑防护）。其中，可发展的重点产品有：火电立磨减速机，大功率风电齿轮箱，核电循环水泵齿轮箱，船用高速齿轮箱，大功率采煤、掘进机齿轮传动装置，污水处理装置用高速齿轮箱，高速列车齿轮传动装置，大型自走式收获机械、大型拖拉机驱动桥箱总成，超超临界火电用调速装置，宽板轧机齿轮箱及大型矿用自卸车、大型露天矿挖掘机用液力变矩器等。在这次产业升级过程中，我国齿轮企业应充分利用国家科研项目经费资助、高新技术企业税收优惠等有利条件，开发高端齿轮产品，提高自身市场竞争力。

老牌机械强国如美国、德国、日本等国家，特别重视齿轮产业，投入大量的科研经费进行基础及应用研究，其国内相应也出现了AGMA（American Gear Manufacturers Association）、JGMA（Japan Gear Manufacturers Association）、VDMA等代表业内成员处理公众事务的协会组织。

我国现代齿轮行业的发展虽然略逊色于国外发达国家，但我国从未减慢追赶的步伐。在学习吸收国外优秀经验的同时，政府也推出了一系列的扶植政策，鼓励企业突破及掌握可持续发展领域的核心技术，提升前端研发能力和高端制造能力，优化产业结构，提升行业整体竞争实力。行业中深具影响力的中国机械通用零部件工业协会也不断发挥中介作用，整合行业资源，在为企业提供技术、管理、信息、咨询服务的同时也起到了协调、沟通、监督和评估等方面的作用，真正成为了政府与企业之间的桥梁。

4.4.2 主要工业国家齿轮产业协会概况

1. 美国齿轮制造业协会

美国齿轮制造业协会，英文全称为American Gear Manufacturers Association，缩写名称为AGMA。AGMA成立于1916年，是制定标准的组织，有来自30多个国家的400多名会员，包括齿轮、减速器和增速器的制造商和向齿轮工业提供机床、工具的制造商以及齿轮用户。从建立伊始，AGMA即向齿轮企业和消费者提供多种服务，促进齿轮企业在国内外市场的竞争能力。AGMA的主要活动和提供的服务包括以下内容：

（1）标准　AGMA是ANSI认可的标准制定组织，其所制定的标准也是美国国家标准。

（2）ISO活动　AGMA是负责制定国际齿轮标准的ISO/TC60（齿轮）技术委员会的秘书处，同时也是ISO/TC60第2工作组（齿轮精度）、ISO/TC60第9工作组（齿轮验收规范）的秘书处。

（3）市场报告和统计表　AGMA的每月市场趋向等报告提供齿轮工业最新的信息。

（4）销售和统计委员会　通过信息共享和向普遍存在的工业问题提供解决方案使企业保持竞争优势。

（5）公共事务委员会　在华盛顿向国家的立法者和管理者反映齿轮工业的呼声。

（6）齿轮博览会　齿轮工业的唯一贸易博览会。

（7）技术委员会会议　是 AGMA 标准的核心，在确保会员使用现行标准的同时，随时了解最新的标准制定信息。

（8）齿轮制造业培训学校　使用现代技术提供技术培训。

（9）新闻摘要　AGMA 的季度通讯提供可以立即使用的、即时的、有用的信息。

AGMA 现行标准约 125 项，涉及的领域包括：齿轮工业名词术语，齿轮制图，齿轮滚刀和成形刀具，齿轮箱和其他减速器的应用分类，齿轮齿廓几何尺寸标准，强度和耐久性计算公式，检验方法和实验，齿轮坯料，开式或闭式齿轮润滑，减速器设计和功率，直齿轮、斜齿轮、人字齿轮、蜗轮、锥齿轮、细节距齿轮和航天齿轮等。AGMA 现有 29 个技术委员会，包括 26 个国内标准技术委员会和 3 个国际标准技术委员会。

AGMA 通过网站全面介绍其标准化活动，提供标准技术委员会、成员、出版物、培训等信息，并通过 AGMA Online Store 提供标准和技术会议论文的检索查询和在线订购服务。

2. 日本齿轮制造协会

日本齿轮制造协会，英文全称为 Japan Gear Manufacturers Association，缩写为 JGMA。JGMA 是日本齿轮和齿轮行业唯一的代表。JGMA 的活动目标是通过促进技术创新，简化管理和创新齿轮装置，从而推动齿轮行业在日本的发展，并为日本经济的发展作出贡献。该协会成立于 1938 年，1958 年注册为法人团体。JGMA 的主要活动和提供的服务包括以下内容：

（1）服务并促进齿轮和齿轮行业的发展　为推动齿轮行业的发展，该协会密切联系工业和其他政府部门，反映经济市场诉求，时刻关注国内外产业发展趋势，保持与相关行业协会的密切接触，并为成员提供信息。

（2）标准化　该协会的标准委员会（简称标委会）成立于 1956 年，致力于技术的研究和 JGMA 标准的制定。该标委会的第一项标准《直齿轮和斜齿轮的精度》出版于 1956 年，截至目前已出版 57 项标准。JGMA 标准有些被 JIS 标准采用，也有一些被国际标准 ISO 借鉴。为满足行业的要求或需要，该标委会也会修改一些 ISO 标准和 JIS 标准。

（3）各种技术研讨会　为进一步改善齿轮设计及研发，JGMA 会定期举办技术研讨会。此外，JGMA 还举办各种研讨会，例如实例管理、税务事项、经济预测等，同时还组织成员参观优秀的公司及工厂。

（4）市场开发和公共关系　JGMA 定期举办日本国际机床工具展览会，旨在

搭建贸易交流的平台。届时成员会在展会上展示它们的产品，成员之间可就关心的技术问题进行交流。

（5）国际交流　1958 年该协会开始组织商业代表团出访海外国家。在出访期间，代表团一直致力于技术信息的交流，尤其是与美国和欧洲领先的齿轮公司的技术讨论。

JGMA 已注册为 ISO 理事会成员，积极与世界各国工程师交换意见并参加各种国际会议，在国际交流中起到日益重要的作用。

3. 德国机械设备制造业联合会（VDMA）

德国机械设备制造业联合会（VDMA）拥有 3 000 多家会员企业，是欧洲投资品工业领域最大且最为重要的机构。其总部位于德国美因河畔法兰克福市，拥有相关领域专家 400 余名。VDMA 下设 37 个专业协会，并拥有一系列跨专业的论坛、委员会及工作组。德国各州该协会的地方协会负责直接与会员企业及当地政府的相关负责人建立联系。而在柏林及布鲁塞尔的欧盟组织中，则由 VDMA 直接与政界进行联络。近年来，在世界上极为重要的市场，如中国、印度、日本及俄罗斯等，VDMA 均设立了自己的办事处及服务中心，用于向各会员企业提供帮助。

4. 中国机械通用零部件工业协会

中国机械通用零部件工业协会是经国家民政部批准并注册登记的全国性社会团体法人，成立于 1989 年，是我国紧固件、齿轮、链传动、弹簧、粉末冶金、传动联结件行业的制造企业、科研院所及相关单位自愿组成的全国性行业组织。现有团体会员近 2 000 家，拥有职工 30 万人，年销售总额 2 060 多亿元，出口总额达 70 亿美元。

该协会坚持以服务为宗旨，代表和维护全行业的共同利益及会员的合法权益，代表上述六个行业与政府沟通，致力于我国机械通用零部件行业的振兴与发展。该协会的主要任务是：

1）对行业改革和发展情况进行调研，为政府制定政策提出建议。

2）组织市场及技术发展调研，为行业内企业开拓市场服务。

3）组织制订及修订标准，组织质量监督和推荐优秀新产品。

4）开展行业统计工作，组建行业技术和经济信息网络。

5）定期出版发行《机械传动与零部件》双月刊。

6）为国内外企业提供技术咨询、市场调研、资产评估、人员培训等服务。

7）组织我国企业参加国内外举办的展览会，并邀请外国企业参加本协会举办的一年一届的国际展览会。

该协会下属的分支机构有：齿轮分会、紧固件分会、链传动分会、弹簧分会、粉末冶金分会、传动联结件分会等。

第 5 章

我国齿轮行业标准化现状及展望

5.1 齿轮标准化工作基本情况

到目前为止，我国的齿轮和与齿轮相关的（如齿轮机床、齿轮量仪、齿轮刀具等）基础性国家标准和行业标准大约有 380 余项。这些标准的管理分属不同的标准化技术委员会（如机床、汽车、冶金、钟表、重型机械等标准化技术委员会）。全国齿轮标准化技术委员会是我国齿轮标准化的技术归口组织，齿轮方面的基础性标准均由该委员会负责起草、维护和管理。下面主要以基础性齿轮标准来说明我国的齿轮行业标准化状况。

5.1.1 国内齿轮标准化情况

截至 2011 年年底，全国齿轮标准化技术委员会归口的标准总数为 80 项（见表 5-1），其中，国家标准 55 项、国家标准化指导性技术文件 8 项、行业标准 17 项。在 55 项国家标准中，1986—1989 年发布的有 15 项，1990—1999 年发布的有 18 项，2000 年以后发布的有 22 项。9 项国家标准化指导性技术文件均为 2000 年以后发布。在 17 项行业标准中，1991—1999 年发布的有 10 项，2000 年以后发布的有 7 项。

55 项国家标准均为推荐性标准，17 项行业标准也均为推荐性标准。

55 项国家标准中，基础标准 39 项，占 70.9%；方法标准 15 项，占 27.3%；产品标准 1 项，占 1.8%。17 项行业标准中，基础标准 7 项，占 41.18%；产品标准 6 项，占 35.29%；方法标准 4 项，占 23.53%。9 项国家标准化指导性技术文件均为方法标准。

55 项国家标准中，采用 ISO 标准的 23 项，采用国外先进标准的 6 项。9 项国家标准化指导性技术文件均采用了 ISO/TR（TR 表示技术报告）。17 项行业标准中，采用 ISO 标准的 1 项，采用国外先进标准的 2 项。我国现行齿轮标准见表 5-1。

表 5-1 我国现行齿轮标准

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
1	GB/T 10107.3—2012	摆线针轮行星传动 第 3 部分：几何要素代号	基础			TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
2	GB/T12371—1990	锥齿轮　图样上应注明的尺寸数据	基础	ISO 1341:1976 NEQ		TC52
3	GB/T 12369—1990	直齿及斜齿锥齿轮基本齿廓	基础	ISO 677:1976 NEQ		TC52
4	GB/T 12368—1990	锥齿轮模数	基础	ISO 678:1976 NEQ		TC52
5	GB/T 11366—1989	行星传动基本术语	基础			TC52
6	GB/T 11365—1989	锥齿轮和准双曲面齿轮精度	基础		ГОСТ 1758:1981	TC52
7	GB/T 10853—2008	机构与机器科学词汇	基础			TC52
8	GB/T 10227—1988	小模数圆柱蜗杆、蜗轮精度	基础			TC52
9	GB/T 10226—1988	小模数圆柱蜗杆基本齿廓	基础			TC52
10	GB/T 12760—1991	圆柱蜗杆、蜗轮图样上应注明的尺寸数据	基础			TC52
11	GB/T 10224—1988	小模数锥齿轮基本齿廓	基础			TC52
12	GB/T 12759—1991	双圆弧圆柱齿轮基本齿廓	基础			TC52
13	GB/T 10107.2—2012	摆线针轮行星传动　第2部分：图示方法	基础			TC52
14	GB/T 10107.1—2012	摆线针轮行星传动　第1部分：基本术语	基础			TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
15	GB/T 10096—1988	齿条精度	基础			TC52
16	GB/T 10089—1988	圆柱蜗杆、蜗轮精度	基础		DIN3975:1980 NEQ	TC52
17	GB/T 10088—1988	圆柱蜗杆模数和直径	基础		DIN780:1977 NEQ	TC52
18	GB/T 10087—1988	圆柱蜗杆基本齿廓	基础			TC52
19	GB/T3374.2—2011	齿轮术语和定义 第2部分：蜗轮几何学定义	基础			TC52
20	GB/T 10085—1988	圆柱蜗杆传动基本参数	基础		DIN3976:1980 NEQ	TC52
21	GB/T 10063—1988	通用机械渐开线圆柱齿轮 承载能力简化计算方法	方法			TC52
22	GB/T 10225—1988	小模数锥齿轮精度	基础			TC52
23	GB/T 1840—1989	圆弧圆柱齿轮模数	基础			TC52
24	GB/T 2363—1990	小模数渐开线圆柱齿轮精度	基础			TC52
25	GB/T 12370—1990	锥齿轮和准双曲面齿轮 术语	基础			TC52
26	GB/T 2362—1990	小模数渐开线圆柱齿轮基本齿廓	基础			TC52
27	GB/T 14231—1993	齿轮装置效率测定方法	方法			TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
28	GB/T 14230—1993	齿轮弯曲疲劳强度试验方法	方法			TC52
29	GB/T 14229—1993	齿轮接触疲劳强度试验方法	方法			TC52
30	GB/T 13799—1992	双圆弧圆柱齿轮承载能力计算方法	方法			TC52
31	GB/T 13924—2008	渐开线圆柱齿轮精度 检验细则	方法			TC52
32	GB/T 1356—2001	通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓	基础	ISO 53:1998 IDT		TC52
33	GB/T 10062.2—2003	锥齿轮承载能力计算方法 第2部分：齿面接触疲劳（点蚀）强度计算	方法	ISO 10300-2:2001 IDT		TC52
34	GB/T 10062.3—2003	锥齿轮承载能力计算方法 第3部分：齿根弯曲强度计算	方法	ISO 10300-3:2001 IDT		TC52
35	GB/T 8542—1987	透平齿轮传动装置技术条件	产品		API 613:1997	TC52
36	GB/T 3480.5—2008	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第5部分：材料的强度和质量	基础	ISO 6336-5:2003 IDT		TC52
37	GB/T 6443—1986	渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据	基础	ISO 1340:1976 IDT		TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
38	GB/T 6404.1—2005	齿轮装置的验收规范 第1部分：空气传播噪声的试验规范	方法	ISO 8579-1:2002 IDT		TC52
39	GB/T 3481—1997	齿轮轮齿磨损和损伤术语	基础	ISO 10825:1995 IDT		TC52
40	GB/T 3480—1997	渐开线圆柱齿轮承载能力计算处方法	方法	ISO 6336-1～3:1996 MOD		TC52
41	GB/T 10095.1—2008	圆柱齿轮 精度制 第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值	基础	ISO 1328-1:1995 IDT		TC52
42	GB/T 19406—2003	渐开线直齿和斜齿圆柱齿轮承载能力计算方法工业齿轮应用	方法	ISO 9085:2002 IDT		TC52
43	GB/T 2821—2003	齿轮几何要素代号	基础	ISO 701:1998 IDT		TC52
44	GB/T 6404.2—2005	齿轮装置的验收规范 第2部分：验收试验中齿轮装置机械振动的测定	方法	ISO 8579-2:1993 IDT		TC52
45	GB/T 1357—2008	通用机械和重型机械用圆柱齿轮 模数	基础	ISO 54:1996 IDT NEQ		TC52
46	GB/T 17879—1999	齿轮磨削后表面回火的浸蚀检验	方法	ISO 14104:1995 IDT		TC52
47	GB/T 16848—1997	直廓环面蜗杆、蜗轮精度	基础			TC52
48	GB/T 15753—1995	圆弧圆柱齿轮精度	基础			TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
49	GB/T 15752—1995	圆弧圆柱齿轮基本术语	基础			TC52
50	GB/T 10062.1—2003	锥齿轮承载能力计算方法 第1部分：概述和通用影响系数	方法	ISO 10300-1:2001 IDT		TC52
51	GB/T 10095.2—2008	圆柱齿轮 精度制 第2部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值	基础	ISO 1328-2:1997 IDT		TC52
52	GB/T 19936.1—2005	齿轮FZG试验程序 第1部分：油品的胶合承载能力FZG试验方法A/8.3/90	方法	ISO 14635-1:2000 IDT		TC52
53	GB/T 19935—2005	蜗杆传动 蜗杆的几何参数—蜗杆装置的铭牌、中心距、用户提供给制造者的参数	基础	ISO 10347:1999 IDT		TC52
54	GB/ T 3374.1—2010	齿轮 术语和定义 第1部分：几何学定义	基础	ISO 1122-1:1998 IDT		TC52
55	GB/T 3374.2—2011	齿轮 术语和定义 第2部分：蜗轮几何学定义	基础	ISO 1122-2:1999 IDT		TC52
56	GB/Z 18620.1—2008	圆柱齿轮－检验实施规范 第1部分：轮齿同侧齿面的检验	方法	ISO/TR 10064-1:1992 IDT		TC52
57	GB/Z 18620.2—2008	圆柱齿轮－检验实施规范 第2部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验	方法	ISO/TR 10064-2:1996 IDT		TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
58	GB/Z 18620.3—2008	圆柱齿轮－检验实施规范 第3部分：齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验	方法	ISO/TR 10064-3:1996 IDT		TC52
59	GB/Z 18620.4—2008	圆柱齿轮－检验实施规范 第4部分：表面结构和轮齿接触斑点的检验	方法	ISO/TR 10064-4:1998 IDT		TC52
60	GB/Z 6413.1—2003	圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮 胶合承载能力计算方法 第1部分：闪温法	方法	ISO/TR 13989-1:2000 IDT		TC52
61	GB/Z 6413.2—2003	圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮 胶合承载能力计算方法 第2部分：积分温度法	方法	ISO/TR 13989-2:2000 IDT		TC52
62	GB/Z 19414—2003	工业用闭式齿轮传动装置	方法	ISO/TR 13593:1999 IDT		TC52
63	GB/Z 22559.1—2008	齿轮 热功率 第1部分：油池温度在95℃时齿轮装置的热平衡计算	方法	ISO/TR 14179-1:2001 IDT		TC52
64	JB/T 5076—1991	齿轮装置 噪声评价	方法			TC52
65	JB/T 5077—1991	通用齿轮装置型式试验方法	方法	ISO/TR 13593:1999 IDT		TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
66	JB/T 5078—1991	高速齿轮材料选择及热处理质量控制的一般规定	产品		VDI 2159:1970 NEQ	TC52
67	JB/T 6077—1992	齿轮调质工艺及其质量控制	基础		JISB 6913:1975 NEQ	TC52
68	JB/T 6078—1992	齿轮装置质量检验总则	基础			TC52
69	JB/T 7516—1994	齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量控制	基础			TC52
70	JB/T 7929—1999	齿轮传动装置清洁度	基础			TC52
71	JB/T 8830—2001	高速渐开线圆柱齿轮和类似要求齿轮 承载能力计算方法	方法	ISO 9084:1998 IDT		TC52
72	JB/T 8831—2001	工业闭式齿轮的润滑油选用方法	方法			TC52
73	JB/T 9171—1999	齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制	基础			TC52
74	JB/T 9172—1999	齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及其质量控制	基础			TC52
75	JB/T 9173—1999	齿轮碳氮共渗工艺及其质量控制	基础			TC52
76	JB/T 10420—2004	摩托车 花键轴冷挤压件 技术条件	产品			TC52

（续）

序号	标准编号	标准名称	标准类型	采用国际标准编号及程度	采用国外先进标准编号及程度	技术委员会或技术归口单位
77	JB/T 10421—2004	摩托车 齿轮噪声测量方法	产品			TC52
78	JB/T 10422—2004	摩托车 齿轮坯精锻 技术条件	产品			TC52
79	JB/T 10423—2004	摩托车 齿轮零件、组件 技术条件	产品			TC52
80	JB/T 10424—2004	摩托车 齿轮材料及热处理质量检验的一般规定	产品			TC52

5.1.2 国际齿轮标准化情况

全国齿轮标准化技术委员会对口 ISO/TC60（国际标准组织第 60 委员会，即齿轮技术委员会）。ISO/TC60 秘书处设在美国（美国齿轮制造业协会 AGMA）。现任主席为 Jacques Sprengers（比利时人），现任秘书长为 William A Bradley（美国人）。

ISO/TC60 共有成员国 39 个，其中 P 成员国（积极参加国）18 个，O 成员国（观察者成员国）21 个。我国为 P 成员国。

ISO/TC60 的工作范围为：齿轮传动领域的标准化，包括术语、尺寸、公差、制造和控制工具（加工刀具和测量仪等）。

ISO/TC60 下设两个分技术委员会（SC）和 4 个工作组（WG），分别为：SC1——术语和蜗杆传动（秘书处：英国）、SC2——齿轮承载能力计算（秘书处：德国）、WG1——风力发电齿轮箱（秘书处：DS）、WG2——齿轮精度（秘书处：ANSI）、WG9——齿轮验收规范（秘书处：ANSI）、WG10——闭式齿轮传动（秘书处：ANSI）。

现行国际齿轮标准共 58 项，其中全国齿轮标准化技术委员会对口的标准有 49 项，见表 5-2。

表 5-2　归口管理属于机械工业领域的齿轮国际标准情况（截至 2010 年底）
标准化技术归口单位：全国齿轮标准化技术委员会 SAC/TC52

序号	ISO/IEC /TC/SC 编号	国际标准编号（应为 2006 年年底前版本）	国际标准名称（中文）	转化为我国标准编号	转化程度	列入计划编号	转化的国际标准不是最新版本标准
1	ISO/TC60	ISO 53:1998	通用机械和重型机械用圆柱齿轮—标准基本齿条齿廓	GB/T 1356—2001	IDT		
2	ISO/TC60	ISO 54:1977	通用机械和重型机械用圆柱齿轮—模数	GB/T 1357—2008	NEG		不是
3	ISO/TC60	ISO 677:1976	通用机械和重型机械用直齿锥齿轮—基本齿廓	GB/T 12369—1990	NEQ		
4	ISO/TC60	ISO 678:1976	通用机械和重型机械用直齿锥齿轮—模数和径节	GB/T 12368—1990	NEQ		
5	ISO/TC60/SC1	ISO 701:1998	国际齿轮标志几何要素代号	GB/T 2821—2003	IDT		
6	ISO/TC60/SC1	ISO 1122-1:1998	齿轮术语词汇 第1部分：几何学定义	GB/T 3374.1—2010	IDT	20030988-T-604	
7	ISO/TC60/SC1	ISO 1122-2:1999	齿轮术语词汇 第2部分：蜗轮蜗杆几何学定义	GB/T 3374.2—2011	IDT	20030989-T-604	
8	ISO/TC60	ISO 1328-1:1995	圆柱齿轮—ISO 精度制 第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值	GB/T 10095.1—2008	IDT		
9	ISO/TC60	ISO 1328-2:1997	圆柱齿轮—ISO 精度制 第2部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值	GB/T 10095.2—2008	IDT		
10	ISO/TC60	ISO 1340:1976	圆柱齿轮—为了获得所需要的齿轮用户提供给制造者的参数	GB/T 6443—1986	IDT		

（续）

序号	ISO/IEC /TC/SC 编号	国际标准编号（应为2006年年底前版本）	国际标准名称（中文）	转化为我国标准编号	转化程度	列入计划编号	转化的国际标准不是最新版本标准
11	ISO/TC60	ISO 1341: 1976	直齿锥齿轮—为了获得所需要的齿轮用户提供给制造者的参数	GB/T 12371—1990	NEQ		
12	ISO/TC60	ISO/TR 4467: 1982	减速和增速圆柱齿轮副的轮齿齿顶高变位				
13	ISO/TC60/ SC2	ISO 6336-1:1996	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第1部分：基本原理、概述和通用影响系数	GB/T 3480—1997	MOD		
14	ISO/TC60/ SC2	ISO 6336-2:1996	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第2部分：齿面疲劳（点蚀计算）	GB/T 3480—1997	MOD		
15	ISO/TC60/ SC2	ISO 6336-3:1996	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第3部分：齿根弯曲强度计算	GB/T 3480—1997	MOD		
16	ISO/TC60/ SC2	ISO 6336-5:2003	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第5部分：材料的强度和质量	GB/T 3480.5—2008	IDT		不是
17	ISO/TC60	ISO 8579-1:2002	齿轮装置验收规范 第1部分：空气传播噪声的试验规范	GB/T 6404.1—2005	IDT		
18	ISO/TC60	ISO 8579-2:1993	齿轮装置验收规范 第2部分：验收试验期间齿轮装置的机械振动测定	GB/T 6404.2—2005	IDT		
19	ISO/TC60/ SC2	ISO 9084:2001	直齿轮和斜齿轮承载能力计算—船舶齿轮应用				

（续）

序号	ISO/IEC /TC/SC 编号	国际标准编号（应为2006年年底前版本）	国际标准名称（中文）	转化为我国标准编号	转化程度	列入计划编号	转化的国际标准不是最新版本标准
20	ISO/TC60/SC2	ISO 9084:1998	高速渐开线圆柱齿轮和类似要求齿轮承载能力计算方法	JB/T 8830—2001	IDT		
21	ISO/TC60/SC2	ISO 9085:2002	直齿轮和斜齿轮承载能力计算—工业齿轮应用	GB/T 19406—2003	IDT		
22	ISO/TC60	ISO/TR 10064-1:1992	圆柱齿轮—检验实施规范 第1部分：轮齿同侧齿面检验	GB/Z 18620.1—2008	IDT		
23	ISO/TC60	ISO/TR 10064-2:1996	圆柱齿轮—检验实施规范 第2部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验	GB/Z 18620.2—2008	IDT		
24	ISO/TC60	ISO/TR 10064-3:1996	圆柱齿轮—检验实施规范 第3部分：齿轮坯、轴中心距和轴线平行度	GB/Z 18620.3—2008	IDT		
25	ISO/TC60	ISO/TR 10064-4:1998	圆柱齿轮—检验实施规范 第4部分：表面结构和轮齿接触斑点检验	GB/Z 18620.4—2008	IDT		
26	ISO/TC60	ISO/TR 10064-5:2005	圆柱齿轮—检验实施规范 第5部分：齿轮测量仪器的评价				
27	ISO/TC60/SC2	ISO 10300-1:2001	锥齿轮承载能力计算 第1部分：概述和通用影响系数	GB/T 10062.1—2003	IDT		
28	ISO/TC60/SC2	ISO 10300-2:2001	锥齿轮承载能力计算 第2部分：齿面疲劳（点蚀）计算	GB/T 10062.2-2003	IDT		

（续）

序号	ISO/IEC /TC/SC 编号	国际标准编号（应为2006 年年底前版本）	国际标准名称（中文）	转化为我国标准编号	转化程度	列入计划编号	转化的国际标准不是最新版本标准
29	ISO/TC60/SC2	ISO 10300-3:2001	锥齿轮承载能力计算 第 3 部分：齿根强度计算	GB/T 10062.3—2003	IDT		
30	ISO/TC60/SC2	ISO/TR 6336—1~3:1996	圆柱齿轮—变载荷下的服务系数计算—适用于 ISO 6336 圆柱齿轮条件	GB/T 3480—1997	MOD		
31	ISO/TC60/SC1	ISO 10825:1995	齿轮—齿轮轮齿的磨损和损伤—术语	GB/T 3481—1997	IDT		
32	ISO/TC60/SC1	ISO 10828:1997	蜗杆传动—蜗杆齿廓的几何参数	GB/T 10087—1988			
33	ISO/TC60	ISO/TR 13593:1999	工业用闭式齿轮传动装置	GB/Z 19414—2003	IDT		
34	ISO/TC60/SC2	ISO 13691:2001	石油和天然气工业—高速特殊用途齿轮装置				
35	ISO/TC60/SC2	ISO/TR 13989-1:2000	圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮的胶合承载能力计算 第 1 部分：闪温法	GB/Z 6413.1—2003	IDT		
36	ISO/TC60/SC2	ISO/TR 13989-2:2000	圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮的胶合承载能力计算 第 2 部分：积分温度法	GB/Z 6413.2—2003	IDT		
37	ISO/TC60/SC2	ISO 14014:1995	齿轮—磨削后表面回火的浸蚀检验	GB/T 17879—1999	IDT		
38	ISO/TC60/SC2	ISO/TR 14179-1:2001	齿轮—热功率 第 1 部分：油池温度在 95℃时齿轮装置的热平衡计算		IDT	20030990-Z-604	

（续）

序号	ISO/IEC /TC/SC 编号	国际标准编号（应为2006年年底前版本）	国际标准名称（中文）	转化为我国标准编号	转化程度	列入计划编号	转化的国际标准不是最新版本标准
39	ISO/TC60/SC2	ISO/TR 14179-2:2001	齿轮—热功率 第2部分：热承载能力计算		IDT	20030991-Z-604	
40	ISO/TC60/SC2	ISO 14635-1:2000	齿轮—FZG试验方法 第1部分：油品胶合承载能力FZG试验A/8.3/90	GB/T 19936.1—2005	IDT		
41	ISO/TC60/SC2	ISO 14635-2:2004	齿轮—FZG试验方法 第2部分：胶合承载能力FZG分步加载试验A10/16、6R/120	GB/T 19936.2—2005	IDT		
42	ISO/TC60/SC2	ISO 18653:2003	齿轮—单个齿轮测量仪器的评价		IDT		
43	ISO/TC60/SC1	ISO 10347:1999	蜗杆传动—几何参数—蜗杆传动装置的铭牌、中心距、用户提供给制造者的参数	GB/T 19935—2005	IDT		
44	ISO/TC60	ISO 17485:2006	锥齿轮精度制				
45	ISO/TC60	ISO 81400-4:2005	风力发电齿轮箱设计规范				
46	ISO/TC60	ISO 21771:2007	齿轮—圆柱渐开线齿轮和齿轮副定义和术语				
47	ISO/TC60	ISO 23509：2006	锥齿轮和准双曲面齿轮术语				
48	ISO/TC60	ISO/TR 18792：2008	工业齿轮传动装置的润滑油				
49	ISO/TC60	ISO/TR 15144-1：2010	直齿轮和斜齿轮微点蚀承载能力计算 第1部分：概述和基本原理				

5.1.3 全国齿轮标准化技术委员会（SAC/TC52）情况

全国齿轮标准化技术委员会（CSBTS/TC52）是由国家标准化管理委员会直接领导的全国性专业标准化技术工作组织，负责齿轮及其装置专业技术领域的标准化归口工作。秘书处挂靠在郑州机械研究所。

全国齿轮标准化技术委员会根据国家有关标准化工作的方针、政策，组织提出齿轮专业标准化工作方针、政策和技术措施的建议；组织制订、修订齿轮专业基础性、通用性国家标准和行业标准的规划和年度计划；负责审查、复核、上报以及复审、修订齿轮专业基础性、通用性国家标准和行业标准；负责组织齿轮专业有关标准的宣传、解释、培训，推进标准实施。

全国齿轮标准化技术委员会的工作领域包括：

1）齿轮专业名词术语。

2）齿轮精度。

3）承载能力计算。

4）齿轮验收规范。

5）齿轮传动装置。

6）齿轮产品的制造。

全国齿轮标准化技术委员会承担着与国际标准化组织第 60 技术委员会（ISO/TC60）的对口技术业务工作，与 ISO/TC60 保持着良好的工作关系，是该组织的 P 成员国（即积极参加国）。我国积极参加了 ISO/TC60 组织的对标准提案的投票活动，负责组织审查我国提案和国际标准的中文译稿以及相应的技术组织工作。

全国齿轮标准化技术委员会由来自全国有关大专院校、研究院所、工厂企业的长期从事齿轮专业技术工作，具有较高理论水平和较丰富实践经验，熟悉和热心标准化工作的科技人员组成。技术委员会委员由国务院有关行政主管部门推荐，报请国家标准化管理委员会核准并聘任，任期五年。

全国齿轮标准化技术委员会（以下简称齿标委会）成立于 1985 年，现为第六届（2011 年组建）。第六届齿标委会共有委员 57 名、通讯委员 1 名，其中主任委员 1 名，副主任委员 2 名，委员 54 名。

考虑到齿轮问题的普遍性，第六届齿标委会委员尽可能地吸收不同行业不同部门的专家参加。其中包括机床方面的专家 3 名，计量方面的专家 2 名，质量监督方面的专家 2 名，润滑油品方面的专家 1 名，汽车齿轮方面的专家 2 名，应用

方面的专家 4 名。

第六届齿标委会中具有研究员、教授职称的委员共 31 名，占总人数的 53.45%，具有高级工程师、副教授等职称的委员共 18 名，占总人数的 31.03%；具有博士、硕士学位的委员共 26 名，占总人数的 44.83%。1960 年以后出生的委员共 43 名，占总人数的 74.14%，委员的平均年龄为 47.8 岁。

机构学专业尚未成立标准化技术委员会，标准化工作现由郑州机械研究所归口负责。

5.2 齿轮标准化工作面临的形势和标准化需求分析

5.2.1 国内形势

近年来，齿轮行业的发展势头较好，产值逐年增加。并且，大量引进了国外先进加工设备和检测设备，产品质量、数量以及产业规模均在升级。因此，对标准化的需求也在增加，从标准化的咨询量、对标准和标准资料的需求量上也可以看出这一点。

然而，就齿轮标准而言，标准的老化现象比较严重，无法适应产业的发展。55 项国家标准中，1986—1989 年发布的标准有 15 项，占 27%，1990—1999 年发布的有 18 项，占 33%，2000 年（包括 2000 年）以后发布的标准有 22 项，占 40%。17 项行业标准中，2000 年（包括 2000 年）以后发布的有 7 项，占 41%。为适应产业的发展，急需对标龄较长的标准进行修订。

随着市场竞争的越发激烈，各企业为追求经济效益的增长，将大量人力、财力投入到产品的生产和开发上，这无疑是正确的。但是，较少投入人力、财力参与国家标准和行业标准（尤其是基础性标准）的制订、修订工作。这是目前齿轮标准化工作中存在的一个大问题。

对于行业标准而言，目前国家经费支持较少，制订、修订工作很难开展。以摩托车齿轮标准为例，2004 年以前我国没有摩托车齿轮标准，从 1998 年开始，全国齿轮标准化技术委员会和中国机械通用零部件工业协会齿轮分会着手开展该方面标准的制订工作，历时 7 年，到 2004 年才发布了 5 项标准，其中工作经费不足是主要问题。

5.2.2 国际形势

国际上在齿轮标准化方面，各国（包括先进工业国家）采用 ISO 标准的趋势

越来越明显，以齿轮精度为例，日本、美国、俄罗斯、法国等国先后等同采用了国际标准。

先进工业国家将自己的国家标准、协会标准的内容渗透到 ISO 标准（或直接转化作为 ISO 标准）的趋势也越来越明显，在齿轮标准方面，以美国和德国为甚。

随着经济全球化的发展，我国一些比较好的齿轮生产企业也在直接采用 ISO 标准或国外先进工业国家的标准。

5.3 “十二五”期间齿轮标准化工作的发展思路和工作目标

5.3.1 发展思路

树立科学发展观，用先进、适用的标准和技术服务于国民经济的发展，积极采用国际标准，缩小差距，力争与国际标准同步进展，实质性参与国际标准化工作。

根据市场化原则、国际化原则、时代化原则，加强重点领域关键技术标准的研制，尤其是汽车、钢铁、船舶、石化、轻工、纺织、有色金属、装备制造、电子信息、物流十大重点产业调整和振兴规划相关标准以及质量安全标准的研制，促进科研成果转化为标准，提高标准的技术水平。

5.3.2 工作目标

力争五年内完成约 15 项国际标准的转化工作。五年内达到与国际标准基本同步发展。转化 5 ～ 10 项先进工业国家标准（如 DIN、AGMA）。力争到 2015 年将标龄控制在 10 年以内，要实现此目标，需修订国家标准 50 余项，行业标准 10 项。“十二五”期间全国标准化技术委员会主要采用转化的国际标准见表 5-3。

表 5-3 “十二五”期间全国标准化技术委员会主要采用转化的国际标准

序号	标准名称	级别	性质	类别	状态	采用国际国外标准编号	技术归口
1	圆柱齿轮—检验实施规范 第 5 部分：齿轮测量仪器的评价	国标	推荐	基础		ISO/TR 10064-5:2005 IDT	TC52
2	齿轮—单个齿轮测量仪器的评价	国标	推荐	基础		ISO 18653:2003 IDT	TC52

（续）

序号	标准名称	级别	性质	类别	状态	采用国际国外标准编号	技术归口
3	高速渐开线圆柱齿轮和类似要求齿轮承载能力计算方法	行标	推荐	方法	转为国标	ISO 9084:1998 IDT	TC52
4	工业闭式齿轮的润滑油选用方法	行标	推荐	方法	转为国标	AGMA 9005-D94 IDT	TC52
5	齿轮—FZG 试验方法 第 2 部分：胶合承载能力 FZG 分步加载试验 A10/16、6R/120	国标	推荐	方法		ISO 14635-2:2004 IDT	TC52
6	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 1 部分：基本原理、概述和通用影响系数	国标	推荐	方法		ISO 6336-1:2006 IDT	TC52
7	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 2 部分：齿面接触疲劳强度（点蚀）计算	国标	推荐	方法		ISO 6336-2:2006 IDT	TC52
8	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 3 部分：轮齿弯曲疲劳强度计算	国标	推荐	方法		ISO 6336-3:2006 IDT	TC52
9	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 6 部分：变载荷条件下的使用寿命计算	国标	推荐	方法		ISO 6336-6:2006 IDT	TC52
10	直齿轮和斜齿轮承载能力计算—船舶齿轮应用	国标	推荐	方法		ISO 9084:2001 IDT	TC52
11	蜗轮蜗杆承载能力计算	国标	推荐	方法			TC52
12	石油和天然气工业—高速特殊用途齿轮装置	国标	推荐	产品		ISO 13691:2001 IDT	TC52

5.4 “十二五”期间齿轮标准化主要工作和重点领域

5.4.1 主要工作

1. 基础性领域

1）齿轮材料金相组织标准的研究制订。

2）锥齿轮的精度与检验标准。

3）蜗杆蜗轮的精度。

4）承载能力计算等。

5）2000 年以前发布的齿轮标准的修订。

6）采用国际标准或国外先进标准。

2. 能源领域

1）风力发电齿轮标准。

2）核电齿轮标准。

3）火电齿轮标准。

4）海洋石油钻井平台齿轮标准。

5）石油和天然气工业用齿轮装置。

3. 交通领域

高速机车齿轮标准。

5.4.2 重点领域

紧紧围绕“中国特色的新型工业化道路”的主题，开展重点领域关键技术标准的研制。

齿轮相关的领域包括重大成套技术装备、大型清洁高效发电设备、新能源设备、配套的齿轮产品、绿色制造工艺、机械安全、包装等。

1. 齿轮材料领域

到目前为止，在该领域内没有工业齿轮和通用齿轮的金相组织标准。为了提高齿轮的内在质量，行业上急需这类标准，如调质齿轮金相检验、渗碳齿轮金相检验标准，相关上级部门应尽早进行列项，组织力量进行技术研究，然后制订出标准。

2. 风力发电齿轮装置

在这方面我国起步较晚，但发展速度较快。然而我国没有该方面齿轮装置的设计等规范，急需制订。

3. 石油和天然气工业用齿轮装置

在这方面我国没有相应的标准或规范，急需制订。

4. 大型、特大型齿轮传动装置

包括海洋石油钻井平台，大型、特大型升船机用齿轮传动装置，在这方面我国没有相应的标准或规范，应尽快制订。

5. 超临界/超超临界火电齿轮装置

在这方面我国目前还没有相应的标准或规范。

以上四方面（2～5）均与电力、能源的发展有关，建议国标委作重点项目进行列项，组织力量开展研究和制订标准工作。

6. 轨道交通齿轮装置

在这方面我国也没有相应的标准或规范，急需制订。

7. 基础性领域

此领域包括齿轮传动最基本的标准和规范的制订、修订，如锥齿轮的精度与检验标准、蜗杆蜗轮的精度和承载能力计算等。到目前为止，我国还没有锥齿轮的检验标准及蜗杆蜗轮的承载能力计算标准。这方面的工作主要是为了满足基础标准的配套使用，便于标准的实施。

5.5 “十二五”期间齿轮标准化技术机构建设

为完成“十二五”期间齿轮标准化的各项任务，需进行全国齿轮标准化技术委员会的体系优化。根据与 ISO 对口和国内需要的原则，建议全国齿轮标准化技术委员会设立如表 5-4 所列的分技术委员会和工作组。

表 5-4　全国齿轮标准化技术委员会拟设分技术委员会和工作组

全国标委会	分技术标委会或标准工作组	标准化领域	备注
全国齿轮标准化技术委员会	齿轮量仪工作组	齿轮量仪	已组建
	圆柱锥齿轮工作组	圆柱锥齿轮	已组建
	齿轮精度分技术委员会	齿轮精度	需组建
	术语和蜗杆传动分技术委员会	术语和蜗杆传动	需组建

（续）

全国标委会	分技术标委会或标准工作组	标准化领域	备注
全国齿轮标准化技术委员会	齿轮承载能力计算分技术委员会	齿轮承载能力计算	需组建
	齿轮验收规范分技术委员会	齿轮验收与检验	需组建
	能源齿轮传动分技术委员会	风力、火力发电，石油天然气	需组建
	闭式齿轮传动工作组	闭式齿轮传动	需组建

第 6 章

我国齿轮产业发展的环境分析

改革开放 30 多年来，我国齿轮行业伴随国民经济的快速发展取得了长足的进步，产品门类齐全，广泛应用于航空船舶、兵器装备、汽摩农机、机床工具、工程机械、轨道交通、水泥建筑、起重运输、矿山冶金、电力能源、石油化工和仪器仪表等 20 多个领域，形成了独立完整的工业体系，拥有 1 000 多家规模以上的制造企业，形成了约 1 800 亿元市场的大产业，行业骨干企业初步具备了全新产品的开发能力，为振兴装备制造业作出了重要贡献。同时，随着经济全球化趋势的不断增强，国民经济持续快速发展，科学技术的不断提高，国家也出台了一系列政策和措施，使我国齿轮产业的发展环境日益完善。

6.1 多元并存、共同发展的行业格局已基本形成

6.1.1 齿轮行业概述

齿轮行业是我国所有与齿轮产品生产有关的企业的总称，是装备制造业的基础，相对机械装备业而言，齿轮工业属于技术最密集、资金最密集以及规模相对最大的行业。随着国民经济的高速发展，我国齿轮制造企业正由集约化管理转向信息化精益制造，全行业年销售总额已突破千亿元，已基本形成了企业多元并存、共同发展的行业格局。其中，龙头企业、骨干企业已成为推动行业管理水平、产品技术质量水平和自主创新能力提升的重要力量，为把我国从齿轮制造大国建设成为齿轮制造强国作出了突出贡献。

我国齿轮行业基本由车辆齿轮、工业齿轮和齿轮装备三部分组成。

车辆齿轮产品包括车辆齿轮和车辆变速总成，主要为汽车、工程机械、农业机械、摩托车变速传动的配套产品，约占齿轮行业的 60%。

工业齿轮产品包括工业通用、专用、重载齿轮传动产品，用于冶金、矿山、水泥、船舶等领域，其市场份额分别为 18%、12% 和 8%。

齿轮装备制造业包括齿轮机床、刀具、量具、实验设备、齿轮润滑和密封等，占齿轮行业的 2%。

就市场需求与生产规模而言，根据国家统计局和相关行业机构公布的数据，2005—2010 年我国齿轮行业的工业总产值逐年增加，且同比增幅均在 20% 以上，2010 年实现工业总产值 946.35 亿元，已成为我国机械基础件行业的“领军”级

行业，我国已经成为名副其实的世界齿轮制造大国。在发展过程中，齿轮行业有望出现以下四大局面：

1）出现大量达国际水平、拥有自主知识产权的齿轮新产品。

2）打造一批世界知名品牌的齿轮制造企业，而众多专业化的中小企业也将进入全球采购体系及 OEM 配套。

3）成立专业的齿轮贸易平台，举办展览及商贸洽谈等活动。

4）采用国际先进标准，并建立自主的试验检测能力，成立齿轮行业公共实验室，并建立研究所、高校、企业技术中心三结合的齿轮共性基础技术数据平台，促进各企业齿轮产品的自主开发。

我国齿轮行业近年来工业总产值和 2007—2011 年齿轮、传动和驱动部件制造业销售收入分别如图 6-1 和表 6-1 所示。

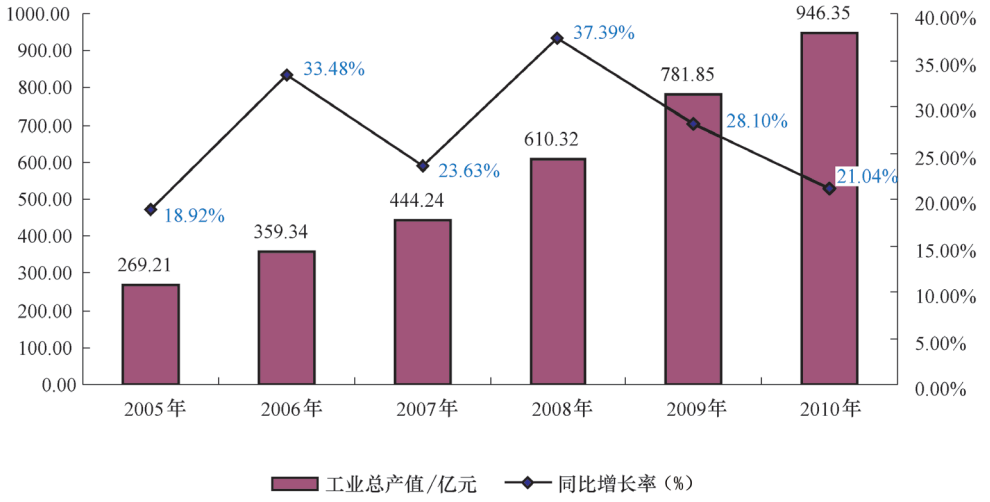


图 6-1　我国齿轮行业近年来的总产值

表 6-1　2007 — 2011 年齿轮、传动和驱动部件制造业销售收入

	2007 年 1—11 月	2008 年 1—11 月	2009 年 1—11 月	2010 年 1—11 月	2011 年 1—9 月
销售收入 / 亿元	427.710	582.188	762.503	1 004.621	896.731
同比增长率（%）	33.61	36.75	13.13	28.89	26.10

注：数据来自中国国家统计局。统计的范围是规模以上工业企业。

从 2011 年起，全国规模以上工业企业起点标准由原来的年主营业务收入 500 万元提高到年主营业务收入 2 000 万元。增长率的计算依据是当年样本企业与上年的比较，而每年的样本企业可能是不一样的。

6.1.2 齿轮行业各专业发展概况

目前，我国以上海汽车齿轮总厂有限公司、陕西法士特汽车传动集团公司为代表的骨干车辆齿轮制造企业，和以郑州机械研究所、南京高精传动设备制造集团有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司等为代表的骨干工业齿轮制造企业，完成了汽车齿轮、摩托车齿轮、工程机械齿轮、农业机械齿轮、工业齿轮变速器和高速齿轮、低速重载齿轮、特殊专用齿轮传动、齿轮专用装备等各类齿轮产品的技术引进、消化和开发工作，使我国齿轮传动制造业近年来得到了跨越式的发展，部分齿轮产品已达到或接近国际水平，但仍有相当一部分齿轮和变速器产品与国际先进水平存在明显差距。

1）我国汽车变速器市场巨大，乘用车变速器市场份额达到整个齿轮市场的 40% 左右。目前，我国汽车手动变速器基本能满足主机厂的配套需要，部分产品实现了出口。但高档汽车自动变速器仍依赖进口，约占进口齿轮产品的 50%。

2）车辆驱动桥、主从动弧齿锥齿轮、直齿锥齿轮及轮边减速机等产品基本能满足国内配套需要，特别是以东风车桥为代表的驱动桥与锥齿轮产业正在整合重组，已经看到快速发展的希望。

3）工业通用变速器。SEW 等一批国外独资企业的进入激活了我国工业通用齿轮箱企业的活力，在产品系列化、模块化、质量与技术水平方面，近年来有了快速的发展，行业内产品差距逐渐缩小，形成了与国际品牌的竞争态势。我国企业生产的部分产品达到了国际水平，部分产品已经出口欧美等地区。

4）工业专用变速器。国产产品目前占据着 70% ～ 80% 的市场份额，行业内以国有企业为主，大部分企业有几十年的技术、人才、资源的积淀。

5）特殊、专用车轮传动方面，如非圆齿轮、塑料齿轮、粉末冶金齿轮、小模数齿轮等，我国目前没有形成龙头企业，企业的技术潜力尚待发挥。

6）高速、重载工业齿轮传动制造行业，目前国内有南京高精齿轮股份有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司、郑州机械研究所、杭州前进齿轮箱集团股份有限公司、洛阳中重减速机公司等为代表的生产企业，这些企业通过早期的技术引进、消化、创新，基本具备了为我国大型成套设备生产配套产品的能力，占有较大的市场份额，少部分产品实现了出口，但高端产品仍依赖进口。

7）减速机是重大装备制造业应用广泛的传动与调速设备，现阶段我国具有一定规模的减速机制造企业数百家，但产品多处于中低端，高端市场基本由德国SEW公司、弗兰德公司、日本住友公司等占据。目前，我国高端减速机产品的市场份额已占到市场总额的1/4～1/3，并以每年5%左右的速度递增。

近几年，国内大型减速机厂家还针对建筑工程机械设备配套所需，开发研制出为压路机、打夯机、路面开凿机等设备配套的大功率、同轴式齿轮减速机，适应矿山和井下作业运输需要的系列齿轮减速机，适应高温高压应用设备所需的行星系列减速机，适应工程变速范围大的转臂行星无级变速减速机等几十个大类，数百种规格的系列产品。

8）齿轮专用装备方面，近年来民营企业发展较快，国有企业发展相对滞后。多数国产齿轮制造装备的性能和可靠性指标与国外先进产品相比差距明显，致使齿轮行业的大部分主导精加工装备仍以进口为主，如国内购买了世界上绝大多数的数控成形磨齿机等。部分国产齿轮制造装备主要有：秦川机床厂的蜗杆砂轮磨齿机，重庆机床厂、南京二机厂的数控机床、弧齿锥齿轮磨齿机床，天津元昊机电开发有限公司的数控弧齿锥齿轮切齿机床，杭州天辰公司的精密齿轮检具、量具、夹具，长城润滑油等。

总体上讲，我国齿轮产品正经历从低端向中端的转变，已经出现少量的高端产品。但是我国齿轮行业还不能完全满足重点行业和重点工程的配套要求，如核电、高速机车、大型船舶、大型工程机械、钻井平台等。这些领域的齿轮及齿轮箱的制造已经成为制约我国部分重大装备研制的瓶颈问题。

6.1.3　产业规模与产业分布

齿轮行业是机械基础件中规模最大的行业，也是充分竞争的行业，国内产品市场份额比较分散。目前，我国有规模以上齿轮企业1 000余家，骨干齿轮企业300多家，重点企业的产量、销售额占全行业的75%以上，现在年销售额超过1亿元的企业已有150多家，还有一批年销售额超过10亿元的企业。表6-2所列为2010年我国机械基础件和典型基础制造工艺的生产规模及世界排名。

从齿轮制造企业的所有制类型上看，国有、民营及独资企业均有一定的数量；从生产产品的类型上看，主要有车辆齿轮制造企业、工业齿轮制造企业及齿轮装备制造企业；工业齿轮制造企业中既有像南高齿、重齿、郑机所这类的专业企业，也有像二重、太重、中信重工等大型企业中的齿轮分厂（车间）；从地域来看，

表 6-2　2010 年我国机械基础件和典型基础制造工艺的生产规模及世界排名

产品名称		生产规模（产量 / 产值）	世界排名
机械基础件	轴承	1 300 亿元	第 3 位
	齿轮	1 450 亿元	第 3 位
	液压元件及系统	351 亿元	第 2 位
	模具	1 631 亿元	第 2 位
	气动元件	116 亿元	第 2 位
	紧固件	560 亿元	第 1 位
	链条	148 亿元	第 3 位
典型基础制造工艺	铸件	3 960 万 t	第 1 位
	锻件	1 022 万 t	第 1 位

注：数据来自相关行业协会。

我国齿轮生产企业主要集中在京津塘、大连 - 沈阳、沪宁杭甬、重庆、郑州 - 洛阳等地区。从产品种类来看，重点地区企业分布情况如下：

（1）汽车自动变速器齿轮　基本由国外公司垄断。

（2）汽车手动变速器齿轮

1）大中型汽车：陕西、大同、重庆。

2）轻微型轿车：长春、重庆。

3）专业齿轮：南京 - 常州、杭州 - 宁波、大连 - 沈阳、郑州 - 洛阳等。

（3）专用、重载、通用齿轮　浙江、江苏、重庆、陕西、河南等。

表 6-3 所列为 2011 年我国部分省市齿轮产量。

表 6-3　2011 年我国部分省市齿轮产量

省市	齿轮产量 /t	增长率（%）
北京市	8 411.83	-15.35
天津市	9 232	214.23
河北省	27 860.6	28.12
辽宁省	8 986.01	14.02
吉林省	1 557.6	-34.42

（续）

省市	齿轮产量 /t	增长率（%）
黑龙江省	318	115.74
上海市	12 902	-0.32
江苏省	175 094.58	43
浙江省	188 751.14	30.98
安徽省	28 787	145.37
福建省	10 735.98	22.84
江西省	20 265.53	48.1
山东省	165 969.6	13.79
河南省	72 164.8	6.12
湖北省	10 644.9	34.96
湖南省	4 087.75	21.53
广东省	11 471.21	24.56
重庆市	41 660.38	12.19
四川省	45 254	22.8

注：数据来自中商情报网。

6.1.4 国内部分齿轮生产企业

1. 陕西法士特汽车传动集团公司

陕西法士特汽车传动集团公司是由陕西汽车齿轮总厂整体改制而成的，注册资本 5 亿元，资产总额 30 亿元，是我国最大的以重型汽车变速器、汽车齿轮及其锻、铸件为主要产品的专业化生产企业和出口基地，旗下拥有陕西法士特齿轮有限责任公司、西安法士特汽车传动有限公司、宝鸡法士特齿轮有限公司、宝鸡法士特铸造公司、西安法士特取力器公司、美国法士特分销公司等 10 余家控、参股公司。2010 年，法士特集团公司产销变速器超过 85 万台，产销收入双双突破 126 亿元，成为全国齿轮行业第一家产销超百亿元企业。其拥有专利 40 多项，多款变速器产品荣获全国齿轮行业“优秀新产品特等奖”和“陕西省科学技术奖”。其创新开发的拥有自主知识产权和高技术含量的双中间轴变速器已达到 20 多个系列数百个品种。该公司各项经营指标连续九年名列全

国齿轮行业第一，重型变速器产销量连续五年稳居世界第一，已跻身全国齿轮行业纳税 10 强、中国汽车工业 50 强、中国机械工业 100 强、中国制造业企业 500 强、中国大型工业企业 1 000 强行列。

2. 南京高精传动设备制造集团有限公司

南京高精传动设备制造集团有限公司是一家以专业生产高速重载齿轮为主的大型企业，名列中国机械工业核心竞争力 100 强。该公司主要产品有：建材专用齿轮箱、冶金专用齿轮箱、风力发电齿轮箱、铁路机车齿轮箱、石化专用齿轮箱等，产品覆盖建材、冶金、发电、化工、矿山、起重、能源、国防等众多领域，并在国内高速重载齿轮箱和风电齿轮箱等市场上占有优势，多项产品填补国内空白。其产品远销美国、德国、日本等十多个国家。目前已获国家授权专利共 167 项。该公司还在国内率先采用了 ISO 1328 和 ISO 6336 国际标准，被列为国家 863 计划和 CIMS 应用示范企业，先后百余次获得国家和省市科技进步奖、优秀新产品奖、新产品证书、高新技术产品认定证书、高新技术企业认定证书等。该公司进口的 6m 磨齿机是国内最大直径的数控磨齿机。目前该公司的工业齿轮箱功率最大已达到 55 000kW，转速最高达到 67 000r/min，线速度最大达到 176m/s，齿轮精度最高达到 3 级。该公司 2011 年主营业务收入 111.84 亿元，位列我国机械工业主营业务收入百强企业第 37 名。

3. 郑州机械研究所

郑州机械研究所是原机械工业部直属的一类研究所，已有近 60 年的科研生产历史，1999 年转制为国务院国有资产管理委员会所属的大型科技企业。郑州机械研究所是我国齿轮传动、机械强度与振动和化学标样等行业的归口单位，建有“全国齿轮标准化技术委员会”“全国机械振动与冲击标准化技术委员会”“国家齿轮产品质量监督检测中心”“齿轮行业生产力促进中心”“中国机械技术学会机械传动分会”“中国机械技术学会机械传动分会齿轮专业委员会”“机械工业齿轮传动工程实验室”“机械工业齿轮传动工程研究中心”“钎焊技术国家重点实验室”“河南省金属材料及工业油品认可实验室”“河南省焊接工程技术中心”“河南省焊接材料检测中心”等 15 个国家级和省部级科技创新平台和行业服务平台。该所能够招收培养“机械设计及理论”“工程力学”两个学科博士学位研究生，以及“机械设计及理论”“材料加工工程”“工程力学”“固体力学”四个学科硕士学位研究生。其编辑出版《机械强度》和《机械传动》两种国家核心期刊。

郑州机械研究所设有齿轮传动、机械强度与振动、铸造、锻压、焊接、热处理等专业。半个世纪以来，郑州机械研究所瞄准国家重大装备和重点技术项目中的关键技术展开研究、攻关，取得了一批具有国际先进、国内领先水平的科研成果。自建所以来，取得科技成果 900 余项，其中获国家发明奖、国家科技进步奖等国家级奖项 33 项，省部级科技进步奖项 200 余项，市、研究院级奖项 400 余项。取得发明专利和实用新型专利近 150 项。

郑州机械研究所一直致力于齿轮传动基础理论、工艺、加工制造技术等的研究和产业化，负责制订、修订了我国齿轮技术标准 100 多项次。尤其在高速渐开线齿轮、圆弧齿轮、行星齿轮、蜗杆蜗轮、锥齿轮、齿轮强度、齿轮润滑和油品、齿轮材料热处理工艺及装备、齿轮试验和检测方法等的技术研究、产品开发以及产业化方面取得了丰硕的科研成果，积累了丰富的理论和生产加工经验，为我国各大钢铁公司、中石油、中石化、中海油、各大电厂、矿山以及军工等大中型企业完成数千台套专用齿轮传动装置的研发，其产品在汽轮机、制氧机、高炉鼓风机、各类冶金设备、海洋平台、核电机组、起重机、传送带输送机、搅拌机、磨煤机等大型设备上得到广泛的应用。郑州机械研究所在国家重点工程、重大装备研制和国防建设中发挥了重要作用，在机械传动和机械强度领域具有很大的影响力。

4. 杭州前进齿轮箱集团股份有限公司

杭州前进齿轮箱集团股份有限公司是我国专业设计、制造齿轮传动装置和粉末冶金制品的大型重点骨干企业，国家高新技术企业。该公司前身为杭州齿轮箱厂，创建于 1960 年，2001 年经国家批准实施“债转股”改制，成为国有多元投资的有限责任公司，2008 年完成股份制改制整体变更为杭州前进齿轮箱集团股份有限公司，并于 2010 年 10 月在上海证券交易所上市。该公司被列为中国工业行业排头兵企业和中国机械工业 100 强及中国大企业集团竞争力 500 强企业。

该公司立足传动装置主业，依靠科技进步，增强企业核心竞争力，确立了在行业中的领先地位。自 20 世纪 80 年代以来，该公司在自主开发的基础上，引进国外先进技术，实现二次创新，产品领域扩展到船用齿轮箱等多个领域。其拥有专利 80 多项，其中发明专利 7 项，实用新型专利 69 项，外观设计专利 4 项。2011 年该公司主营业务收入 23.72 亿元。

5. 中国重汽集团大同齿轮有限公司

中国重汽集团大同齿轮有限公司是中国重型汽车集团有限公司的全资子公

司，是山西省高新技术企业和“百强潜力企业”。该公司拥有我国最先进的轴齿轮自动加工线、牧野加工中心柔性箱体自动生产线、轴磨加工自动生产线、AGV变速器装配线、易普森和爱协林等热处理生产线，并拥有德国胡尔特剃刀磨，瑞士莱斯豪尔、德国卡普和利勃海尔磨齿机等国际一流设备。其轴类自动加工线在国内率先使用无线传输系统，主要生产线全部采用在线检测，主要检测设备全部采用最先进的进口设备。其是目前国内唯一拥有日系、欧系、美系三大技术平台和全同步器、双中间轴、行星机构、AMT 等多种技术路线的变速器研发生产企业。在三次引进日产柴变速器制造技术的基础上，该公司开发出微、轻、中型全系列变速器；与欧洲著名设计公司合作，联合开发了具有国际先进水平、适合我国国情并拥有完全自主知识产权的多挡位、大转矩变速器，并荣获国家科技部“重大项目创新奖”；通过技术共享，先后开发出双中间轴、行星机构等多挡位工程系列变速器。该公司自主研发的多款变速器，在我国汽车自主创新成果评选中荣获“原始创新奖”。目前，该公司的“汽车变速器工程实验室”已被国家发改委认定为国家级工程实验室。

中国重汽集团大同齿轮有限公司先后获得“全国五一劳动奖状”“全国精神文明建设先进单位”“全国重合同、守信用企业”“全国环境优美工厂”“全国名优产品售后服务先进单位”“全国百家最佳汽车零部件供应商”美国康明斯公司“卓越客户支持奖”“山西省五一劳动奖状”“山西省政府质量奖”“山西省优秀高新技术企业”等荣誉称号。

6. 綦江齿轮传动有限公司

綦江齿轮传动有限公司是我国汽车变速器、齿轮、轴及万向节的专业化生产企业，几十年来以不断创新的精神，先后引进贝利埃重型汽车制造技术、德国采埃孚公司的重型汽车机械式变速器制造技术及设备、美国格里森锥齿轮制造技术及设备、美国洛克威尔十吨级桥齿轮及康明斯发动机齿轮制造技术。该公司专业从事汽车变速器、取力器、分动器、螺伞桥齿轮的开发、生产和销售。其主导产品有：引进德国采埃孚公司专有技术生产的 ZFS6-90、5S-111GP 系列重型汽车变速器；消化吸收国外先进技术，并自主开发具有国内领先水平的 S(QJ) 系列重型汽车变速器、取力器、分动器、弧锥齿轮。其产品主要适用于 7 ～ 12m 高档大中型客车，总质量为 14 ～ 50t 的重型载货车、鞍式牵引车、自卸车及各式专用车、特种车。该公司通过 ISO 9001：2000 质量管理体系认证。其产品以精度高、噪声低、寿命长和使用可靠等特点，在国内外享有盛誉。綦

江牌商标历史悠久，驰名中外。

该公司设备齐全精良，检测手段先进，拥有从美国、德国、法国、日本等国家进口的先进设备和检测仪器，并具有较完备的产品试验和理化中心，是国家认定的一级计量、一级理化企业；拥有雄厚的工具制造和设备维修能力。该公司经过一期和二期技改，现已形成了年生产变速器总成6万台、各式取力器5 000台、各式弧齿锥齿轮15万套、锻件2万t的生产能力。

该公司集50年专业制造齿轮和变速器之经验，不断跟随世界先进技术，形成了独特的技术优势。其引进消化德国采埃孚公司专有技术生产的QJ-ZF系列变速器，自主开发的S、QJ系列重型汽车变速器、取力器、分动器、弧锥齿轮，均处于国内领先水平。綦江ZF系列变速器拥有多项国内领先技术。该企业先后荣获重庆市著名商标证书、中国机械500强证书、“中国500家最大交通运输设备制造业企业”、重庆市工业50强证书等荣誉。该公司2003年跻身中国100家“最佳汽车零部件供应商”、中国机械500强，2004年跻身于全国大型企业，“重庆市重合同守信用单位”“市级文明单位”“工业企业协作配套重点企业”。该企业产品先后荣获各种获奖证书：ZFS6-90变速器荣获全国齿轮行业名牌产品和重庆市名牌产品，S5-80(QJ805)变速器荣获国家级新产品，4S-130GP(QJ1208)副变速器壳体荣获中国齿轮行业优秀新产品特等奖。

7. 浙江万里扬变速器股份有限公司

浙江万里扬变速器股份有限公司是国内第一家汽车变速器的上市企业（SZ002434），已形成以浙江为中心，山东、湖北、四川为基地的跨地区企业，拥有资产近22亿元，商用车变速器产销量居全行业前列，其中中轻型载货汽车变速器市场占有率达30%以上，已成为当前我国汽车变速器制造行业发展最快、品种最多、规模最大的企业之一。该公司目前以生产商用车变速器为主，是国内首家完成微型载货汽车、轻型载货汽车、重型载货汽车、客车、SUV、轿车等变速器研发和生产的企业，主要为北汽、东风、江淮、一汽等国内十多家大型汽车厂提供配套产品，已形成了年产120万台、1 000多个品种的变速器总成系列的生产能力，被认定为“中国汽车变速器行业龙头企业”和“中国汽车零部件百强企业”。该公司生产设备先进，拥有日本大畏卧式加工中心机群、进口多用炉、德国格里森P400G磨齿机和剃刀磨床以及国产最先进的数控机床等共3 000多台，是国内自制件率最高的变速器总成生产企业之一，并拥有世界顶尖水平的数控齿轮测量系统、变速器整体性能检测中心等检测和试验设备，有效保证新产品的科研和试验。同时，该公司售后服务健全，在全国范围内建有服务站（点）100多个，

在 20 多个省设有中心库。

6.1.5 国内部分齿轮产业集聚区

近年来我国齿轮产业聚集效应明显，目前重庆、常州两大齿轮产业集聚区的产值占全国齿轮行业的 17% 左右。

1. 重庆綦江

綦江齿轮产业已有 80 年的发展历史，尤其是近十多年来发展迅猛。以綦江齿轮传动有限公司为龙头，綦江市现已拥有大大小小的齿轮生产企业 160 多家，上规模的有近 100 家，从事汽车齿轮生产的技术工人超过 2 万人，拥有了年产各类变速器总成超过 20 万台、汽车半轴近 70 万件、各类汽车齿轮近 2 000 万件的生产能力。2008 年 5 月，綦江市被授予“重庆 • 綦江——中国西部齿轮城”称号。

目前，綦江已拥有全国最大的汽车桥及轮边减速器生产企业——綦江长风汽车齿轮有限公司、全国最大的汽车半轴生产企业——綦江汽车半轴厂、全国十大齿轮品牌企业——綦江大力神齿轮有限公司以及产品出口率超过 90% 的綦江桥箱齿轮有限公司等一批骨干企业。其生产的 95% 以上产品为重庆重汽、陕西重汽、庆铃、长安等国内几十家整车厂、变速器厂、车桥厂配套，是国内最大的汽车半轴、桥齿轮、轮边减速器齿轮生产地，是国内生产齿轮规模最大、品种最多的县级城市。

2. 江苏张庄

江苏盐城市有 29 家齿轮企业来自于一个叫“张庄”的地方，其柴油机齿轮产品已分别占据江苏省和全国市场份额的 1/4 和 1/6。1989 年 6 月成立的江苏江动盐城齿轮有限公司专门生产农业机械齿轮。经过 20 多年的发展，江苏江动盐城齿轮有限公司的产品已由单一的农业机械齿轮发展到中小功率、单多缸柴油机系列十多个品种。该企业也由一个名不见经传的镇办小厂发展成为盐城市重点骨干企业和国家中型二档企业。并在原江苏江动盐城齿轮有限公司精密齿轮车间的基础上成立了盐城市驰翔精密齿轮有限公司，为“春兰”“金城”“金大洲”“林海”及东台纺机等国内众多知名企业配套生产摩托车、全路况齿轮。同时，张庄积极引导企业实施“前伸后延”战略，走规模化、品牌化之路，为此专门投入 2 000 多万元，建立了西郊科技工业集中区，先后吸纳了驰翔精密齿轮有限公司、中力齿轮制造厂、瑞升齿轮有限公司等一批齿轮制造企业进区兴业，并衍生集聚了多家配套企业。

2010 年以来，张庄依托现有齿轮产业基础，通过政策聚焦、要素聚集、力量聚合，加快齿轮产业园区建设步伐，加大特色项目推进力度，力争把齿轮产

业培大育强，成为支撑区域经济、社会发展的主导产业。截至 2010 年上半年，张庄共有齿轮制造及配套企业 48 家，主要生产农业机械齿轮、纺机齿轮等，年可生产各类齿轮 400 万台（套）。张庄规划 3 000 亩土地建设齿轮特色园区，2010 年 4 月，一期 1 000 亩土地开始启动，2010 年新招引 5 亿元的中立齿轮变速箱、1.1 亿元的驰翔风电增速机齿轮、5 000 万元的瑞升机械齿轮、1 亿元的赛米斯机械都已经开工建设。张庄还将通过规划引领、载体建设、品牌塑创、培植龙头，进一步拉长增粗产业链条，努力提升齿轮产业层次，实现齿轮产品由零部件加工向终端产业的整体部件制造突破，由传统的农机、纺机、机油泵等齿轮产品向汽车、风电、船舶等系列齿轮产品拓展。力争到“十二五” 末期，张庄将基本建成具有较强竞争能力的全国重要齿轮生产基地。

6.2 我国齿轮行业发展面临前所未有的大好机遇

6.2.1 国家政策的大环境有利于行业的发展

为了促进齿轮产业的健康、快速发展和贯彻落实《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》关于“装备制造行业要提高基础工艺、基础材料、基础元器件研发和系统集成水平”的要求，以及进一步巩固和发展齿轮行业已有成果，国务院、工业和信息化部等近年来先后发布了一系列鼓励齿轮行业发展的文件、规划和产业政策，以便更好地发挥齿轮产业的支柱作用，为齿轮行业的发展指明了方向。

2006 年 2 月，国务院发布了《关于加快振兴装备制造业的若干意见》【国发（2006）8 号】，明确提出到 2010 年，要发展一批有较强竞争力的大型装备制造企业集团，增强具有自主知识产权重大技术装备的制造能力，基本满足能源、交通、原材料等领域及国防建设的需要等目标。与《国家中长期科学和技术发展规划纲要》及《实施科技规划纲要若干配套政策》相结合，“振兴”和“自主创新”两大政策取向相互促进、协同统一，使得以机械工业为主体的装备制造业进入了一个加快振兴的新一轮黄金发展阶段，而这也必将带动作为配套部件的齿轮产品的需求。围绕两大政策取向，国务院各部委密切协作、深入研究，多领域、多角度的配套细化政策不断出台，装备自主化要求不断提升，重大技术装备研制和重大产业技术开发能力显著增强。

2009 年，为应对全球金融危机冲击，刺激国内需求，加快结构调整，增强发展后劲、实现产业升级，国务院先后出台了十大产业调整和振兴规划，作为齿轮的重要应用行业——装备制造业和汽车产业位列其中，对齿轮需求量日益增大，凸显

出机械工业在保持经济平稳较快增长方面的重要地位和作用，体现了国家对于机械工业平稳较快健康发展的高度重视。以齿轮为代表的零部件不仅是我国装备制造业的基础性产业，也是国民经济建设各领域的重要根基。作为机械传动中传递运动和动力的零件，齿轮既是主传动件同时也是运动件，它是汽车、机床等多个高端机械装备领域中的关键件，通常决定了整体装备的主要功能。齿轮产品是装备制造业中成套设备的重要基础件，将受益于相关装备制造业振兴规划的出台。

2010 年 10 月，国务院发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，作为七大战略性新兴产业之一的高端装备制造产业成为重中之重，将在重点领域集中力量加快推进，强化基础配套能力，大力发展轨道交通装备和海洋工程装备。“十二五”期间，国家将研究制订相关振兴政策，建立重大技术装备跨区域、跨行业、跨部门的协调机制，统筹制订装备制造业的相关政策，组织并监督实施国产化方案。

2010 年 10 月，工业和信息化部发布了《机械基础零部件产业振兴实施方案》，文件中将齿轮和齿轮传动装置确定为六大类基础零部件之一并放在主要位置，并将 13 类齿轮产品列入重点发展项目。

2010 年 11 月，由中国机械通用零部件工业协会齿轮分会制定的《中国齿轮行业“十二五”发展规划纲要》正式颁布。《纲要》提出了“扭转高端齿轮传动装置及其零部件依赖进口局面”的目标和实施产品突破工程等六大工程措施。

2010 年 12 月，中央政治局会议明确提出以加快转变经济发展方式为主线，实施积极的财政政策和稳健的货币政策，增强宏观调控的针对性、灵活性、有效性，加快推进结构调整，大力加强自主创新，切实抓好节能减排，不断深化改革开放，着力保障和改善民生，巩固和扩大应对国际金融危机冲击成果，保持经济平稳较快发展，促进社会和谐稳定。这进一步为齿轮行业的转型升级指出了明确的方向。在国民经济不断升级的大背景下，各行业对装备自主创新的需求将更加迫切，这非常有利于齿轮产品需求结构的优化升级，将促使齿轮行业国内需求继续稳步回升。

2011 年 8 月，工业和信息化部发布了《中国机械通用零部件行业“十二五”发展规划》，对齿轮产业做出了明确规划。规划预测，预计到 2015 年，齿轮产品的销售额将达到 2 940 亿元，比 2010 年翻一番多。规划强调，“十二五”是齿轮等高端零部件发展的关键时期，在政府的政策支持下，未来五年，齿轮行业的发展将更加引人注目。

2011 年 11 月，工业和信息化部发布了《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》。对包括齿轮、紧固件、链条链轮、弹簧、粉末冶金零件、传动联结件等量大面广的关键机械基础件、基础制造工艺和基础材料，集中优势资源，重点予以突破，打造一批具有国际先进水平的关键产品、工艺和知名品牌。在实现局部领域突破和跨越式发展的同时，提升“三基”产业的整体素质，带动产业的全面发展。

2012 年 7 月，国务院发布《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》（以下简称《规划》），旨在加快培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等战略性新兴产业，以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。《规划》确定了今后五年的发展目标：产业创新能力大幅提升，创新创业环境更加完善，国际地位稳步提高，引领带动作用显著增强。到 2015 年，我国战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重要达到 8%左右，对产业结构升级、节能减排、提高人民健康水平、增加就业等的带动作用明显提高。

上述系列文件和规划的出台，对齿轮产业提出了明确要求：未来五年内，齿轮市场的分布情况是：汽车齿轮约占 40%，其他车辆齿轮约占 25%，工业齿轮占 35%；其中，出口约占 15%。2010 年，齿轮产品的销售额为 1450 亿元，规划预计到 2015 年，这一数字将达到 2 940 亿元，五年实现翻番。齿轮产品的出口潜力持续增加，“十二五”期间，预计齿轮产品的出口增长率约为 10%，2015 年，出口将达到约 50 亿美元。

与此同时，进一步强调“十二五”期间是高端零部件发展的关键时期，要求行业瞄准世界先进水平，务求实现高端发展，即发展“超大型、长寿命齿轮及传动装置”，主要包括：

1）重点研发的产品，主要包括多兆瓦级风电、高速机车、节能环保自动变速器及大型舰船齿轮装置等，特点是大功率、长寿命、抗疲劳及低能耗。

2）重点需求的材料，旨在提高齿轮钢抗内氧化能力，大幅提高齿轮寿命，形成有中国齿轮材料特色的系列钢种。

3）重点突破的制造装备与工艺，包括节能环保干切技术和装备、冷 / 温精密成形技术、精密可控热处理技术、热处理催渗技术、全新产品开发试验技术及装备等最新工艺和装备。

6.2.2 良好的下游产业拉动齿轮行业快速发展

作为配套零部件的齿轮产品，在下游行业的带动下保持平稳增长的势头。近年来中国机械行业保持着稳定快速的发展，2011 年中国机械工业的总产值比 2010 年增长了 25.06%，利润比上年增长了 21.14%。中国机械行业整体水平的提高带来了工业成套设备的快速发展，成套设备的设计权和制造权也开始慢慢转向中国，这必将带动配套零部件市场的需求。

“十一五”期间，我国电力装机容量连续实现跨越式发展，五年间的年均增长率为 13.22%，2010 年我国的水电装机容量达到 21 340 万 kW，核电装机容量突破了 1 000 万 kW，风电并网装机容量达到了 3 107 万 kW，非化石能源和清洁能源在我国能源结构中的比例不断提高。到 2010 年底，我国发电设备容量总计为 9.6 亿 kW，目前国内的电力建设继续保持较快的增长速度，而全国的电力装机容量也将突破 10 亿 kW，达到一个新的高度，这也将大大拉动齿轮产品的需求。

2011 年我国煤炭产量平稳增长。大型煤炭企业煤炭产量为 21.8 亿 t，同比增长 10.9%（中国煤炭工业协会统计直报口径）。主要产煤省（自治区）煤炭产量增长较快，山西省全年煤炭产量 8.72 亿 t、内蒙古为 9.79 亿 t、陕西省为 4 亿 t，三省（自治区）合计产量约 22.5 亿 t。煤炭工业重点发展大型矿井综合采掘技术和选矿设备现代化。根据对我国煤炭消费的预测，以及国家要求发展大中型高产高效煤矿和淘汰落后煤矿的精神，现有的神华、兖州、大同、晋城、淄博等矿每年就需高产高效综采 1 200kW 以上的电牵引设备 11 套，若考虑到新建和改建煤矿，综采电牵引设备每年需求将超过 100 套，这为齿轮行业的发展提供了广阔的空间。

我国钢铁工业近几年取得了快速发展，2004 年产钢 2.72 亿 t，钢材 2.97 亿 t，2005 年产钢 3.49 亿 t，钢材 3.71 亿 t， 2011 年，全国产粗钢 6.8388 亿 t，比上年增长 8.9%；产生铁 6.2969 亿 t，增长 8.4%；产钢材（含重复材）8.8258 亿 t，增长 9.9%。21 世纪前 50 年，钢铁产品仍将是人类社会最主要的不可替代的结构材料和产量最大、覆盖面最广的功能材料。我国已经成为最大的钢材消费国之一，钢铁消费潜力巨大。由此，炼钢、轧钢等冶金工业用重型设备仍将具有广阔的市场前景，将拉动齿轮产品等配套设备的需求。

另外，由于农业机械化的升级，工程机械门类的增加，造船业、起重运输业、建筑业、环保设备、航天工业等的快速发展，都将促进我国齿轮行业的发展。

6.2.3 国家内需依然强劲，十大产业助力齿轮产业崛起

政策支持、政府规划更多的是一种相对宏观的引导和帮助，而其他产业的发展对整个齿轮行业来说，可看做是一种更为直接的“助推剂”。

国家工业化、城镇化是一个长期的过程，其中的内需仍然强劲，而现代装备制造业和战略性新兴产业的发展，也为基础零部件行业提供了广阔的用武之地。如新能源汽车、高铁、风电、航空航天、环保机械等，虽然目前部分行业的发展增速有所回落，但其长期稳定发展的趋势并未改变，这就给予了齿轮产业很大的发展空间。

未来五年，十个发展迅猛的产业将是我国齿轮产业的主要市场。这十个产业是汽车、风能、核能、大功率农业装备、工程机械、轨道交通、采煤机械、大型冶金设备、高端数控设备及大型石化设备。

1）汽车产业。有望成为齿轮行业最大的增长点。未来五年内，我国的汽车产业将以每年 10%～15%的速度增长，汽车制动传动装置的年均增长速度保持在 25%，预计到 2015 年底年度需求将超过 100 亿元。汽车自动变速器平均增速将明显快于整车的平均增速，年均增长约 20%。到 2015 年年底，国产汽车自动变速器的市场份额将上升到 50%左右。此外，高精度、低噪声、长寿命、大中型弧齿锥齿轮在大中型高档豪华客车和城市轨道交通领域的市场前景广阔，“十二五”期间市场需求约为 15 亿元。

2）风能产业。“十二五”规划指出，国内市场对兆瓦级风力发电机组的需求仍十分迫切。2004—2009 年，我国的风电新增装机量连续六年实现翻番，到 2011 年年底累计安装风电机组 45 894 台，累计装机容量达到 62 364.2MW。图 6-2 所示为 2006—2011 年我国历年新增及累计风电装机容量（数据来源：CWEA）。

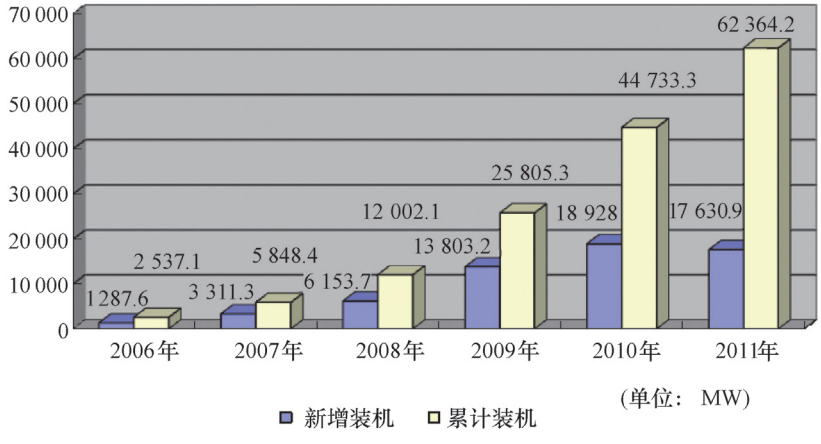


图 6-2 2006 — 2011 年我国历年新增及累计风电装机容量

3）核能产业。根据国家核电中长期发展规划，到 2020 年，我国将开工建设 40 座以上百万千瓦级核电站，合计超过 4 000kW 的核电机组。

4）轨道交通产业。到 2012 年，我国每年需生产高速动车组 300 列，合计齿轮箱 4 800 套，按每套 15 万元计，产值可达 7.2 亿元。

5）采煤机械产业。到 2020 年，我国当年煤炭需求将达到 38 亿 t 左右。“十二五”期间，自主品牌的大功率、高可靠性的采煤机齿轮减速器、掘进机齿轮传动装置具有广阔的市场前景。

6.2.4 区域发展进一步提高齿轮行业整体水平

江苏汽车、农机、工程机械齿轮，重庆汽摩、风电、船舶和轨道交通齿轮两个地区将发展成 200 亿元特大型齿轮制造基地。辽宁大连、浙江、天津等将建成大型齿轮传动装置配套制造基地。齿轮行业正在形成以重庆为齿轮产业集聚区，以西安、杭州、南京、大连为齿轮产业基地的“一区四基地”格局。

上述齿轮制造基地及配套设施的建立将进一步促进我国齿轮行业整体水平的提高。

齿轮行业产业集中度进一步提高。2010 年是齿轮行业平稳较快增长的一年。2010 年 1—12 月，齿轮及传动系统行业实现销售额 1 450 亿元，同比增长 20%；全年进口 106.1 亿美元，同比增长 35%；出口 27.2 亿美元，同比增长 28%；进出口逆差近 80 亿美元；其中进口量最大的产品是汽车自动变速器，约占全行业进口额的一半以上。2010 年齿轮行业重点骨干企业销售额又有大幅增长，陕西法士特汽车传动集团有限公司销售收入达到 126.18 亿元，增幅为 67.3%；南京高精传动设备制造有限公司销售额达到 120 亿元，增幅为 46.3%，它们是齿轮行业产销超百亿元的两家企业。

6.2.5 把握齿轮行业变革关键问题，实现结构合理调整

“十二五”期间是我国经济社会发展极其关键而且特殊的时期，也是全球政治经济格局必将发生重大变化的时期，在新的历史起点上，我国齿轮行业必须要把握好以下四个变革。

1. 经济全球化与贸易保护主义的博弈

目前经济全球化和贸易保护主义正处于博弈阶段，但趋势应是经济全球化。同时，后金融危机时代，人民币面临着升值的巨大压力。这意味着进出口格局将产生新的变化，更多的国际产品将进入我国与国产品牌直接竞争。我国齿轮企业必须要在竞争中走向成熟。未来的竞争格局将是集团化趋势明显，产业集中度提

高；国际大企业重心转移，纷纷加大对我国等新兴市场的投入，国内竞争国际化加剧；国外企业越来越重视中国元素，未来将专门研发针对我国市场的产品。

2. 信息化和工业化融合及由此带来的技术变革

采取信息技术等有效措施改造提升齿轮行业，改变我国齿轮产品档次低和经济效益不高的状况，如使用自动化、智能化设备，降低成本和能源消耗，推动计算机集成制造系统等在齿轮行业的应用，形成强大的先进装备制造体系等。

3. 竞争更加激烈，产业融合成为大势所趋

随着全球一体化的到来，关联度越来越高的产业需要面对越来越多的共同课题，需要建立广泛的合作。而这种合作已不再是仅提供产品这么简单。将从源头上打破产业之间的壁垒，以行业需求为导向成为产业之间融合发展的新趋势。为达成通过产业融合推动技术创新的目的，行业间应在技术、标准和法规、信息服务与软科学研究、品牌推广等方面全方位合作，合理利用双方的资源，进行前瞻性产品的设计与开发，确保我国自主创新技术的适用性和领先性。

4. 低碳经济发展模式的变革

目前低碳化已成为制造业发展的主题，随着越来越多的国家做出低碳化承诺，节能减排将是企业下一步技术发展的方向。行业也应抓住低碳经济的机遇，提前介入混合动力、燃料电池、电机电子等新能源技术的研究；进一步挖掘传统能源的潜力，大力发展再制造等技术，推动产业实现绿色发展、循环发展。

对于整个齿轮产业来说，目前基本实现了以下三大结构调整：

1）布局调整。从低端化向高端化发展，低端、高端合理配置，实现合理布局。

2）结构调整。建立合理的、现代化的产业结构。

3）发展调整。开始抛弃以往以数量大、价格低取胜的粗放型发展方式，逐步提升产品的质量、寿命、外观，增加其技术含量，提高产品附加值，实现高效率、集约式发展。

6.3 我国齿轮行业发展面临的严峻挑战

近年来，我国风电、高铁以及基础设施等建设步伐的加快，带动了齿轮行业的快速发展，国内先进的骨干齿轮企业已经逐步具备了全新产品的开发能力。尽管我国齿轮行业取得了快速的发展，但不容忽视的是，我国齿轮行业仍然存在着许多制约因素，阻碍着整个行业的持续健康发展。整体来看，目前我国齿轮行业在产品质量、设计制造水平以及检测试验手段等方面较发达国家仍存在很大的差

距。此外，我国齿轮行业存在中低端产能过剩，同质化现象严重，激烈的市场竞争下导致无序竞争，降低了行业的利润空间，而高端产品又出现明显的疲软，缺乏足够的创新能力，仍然需要通过进口来满足国内市场的需求，不但齿轮行业贸易逆差逐年增加，还导致整个通用零部件行业出现贸易逆差。

“十二五”期间，我国的齿轮行业面临着巨大的挑战，不仅是国内外日益激烈的市场竞争，还包括国内深层次矛盾的影响，这些都成为了影响我国齿轮行业持续快速发展的不利因素。如何调整振兴，实现由大变强的转变，成为了摆在国内众多齿轮企业面前的一道难题。

6.3.1 设计制造技术方面的挑战

当前，我国齿轮企业设计信息化、装备智能化、流程自动化、管理现代化都呈现出一定程度的缺失现象，我国齿轮行业面临的是挑战与机遇并存的复杂世界经济形势，由制造能力扩张型企业向创新升级型企业发展，已成为我国齿轮行业转型升级的迫切需求，尤其在齿轮设计与制造关键技术方面面临更加严峻的挑战。

1. 齿轮基础研究及关键设计技术

1）随着齿轮传动向高功率密度、高效率、低噪声等方向的不断发展，迫切需要研究开发齿轮新齿形和新传动方式。

2）齿轮材料的疲劳极限以及载荷谱等基础数据决定着齿轮产品设计的合理性和可靠性。缺乏基础研究及数据成为制约我国齿轮产品设计的重要因素之一。

3）缺乏为全行业服务的高水平的测试服务平台，使许多齿轮新产品得不到第三方检测及设计合理性的评定，直接影响产品改进。

4）标准化方面的差距导致齿轮产品设计、制造水平低，可靠性差，寿命短。

5）我国齿轮产品效率、功率密度和可靠性低，振动噪声大，汽车自动变速器等高端齿轮产品依赖进口，一些军用装备的传动装置遭到国外技术封锁。

2. 关键加工技术

超硬加工和干切削能够提高加工效率和减小污染，齿轮冷锻、温锻等近净成形能够节材 30% 左右，节能 65% 左右。随着能源危机和环境污染等的不断加剧，要求齿轮产品加工要达到高效、节能、节材、降耗、环保；随着机械装备朝着高性能、高可靠性、长寿命等方向发展，要求齿轮产品加工要达到高精度、高质量，因此需要攻克一系列关键加工技术。

3. 齿轮材料及热处理技术

齿轮材料品质低、缺陷多以及热处理工艺技术落后，是造成我国齿轮产品承

载能力低、可靠性低、废品率高的重要原因，应该加大研究力度，改变这种状况。

4. 润滑、冷却与密封技术

随着齿轮传动不断向高速、重载、复杂服役环境、高可靠性等方向发展，润滑、冷却和密封方面的问题将更加突出，必须采取应对措施，从根本上解决这些问题。

5. 关键工艺装备技术

根据未来齿轮产品制造对关键工艺装备的需求，我国必须攻克一系列关键工艺装备的设计制造技术，才能重点解决以下问题：①切齿、磨齿机床重点解决高效、高精、数控化、复合化、大型化、自动上下料等方面的问题；②热处理设备重点解决大型、智能、高效、低耗、环保等方面的问题；③刀具与工具重点解决超硬切削、长寿命、低成本等方面的问题；④测量设备重点解决测量精度、测量范围、在机测量、在线测量等方面的问题。

6.3.2 外部环境的挑战

目前，发达国家经济形势具有很大的不确定性，欧债危机发酵、美国经济增长乏力、国际贸易保护主义盛行以及发达国家开始的“再工业化”，给我国齿轮行业中的出口导向型企业造成了很大的生存压力。同时，国内经济增长放缓，通货膨胀压力依然存在，原材料、劳动力、资金、环境约束已成为常态。企业内部自主创新能力不足、现代化管理水平不够，高端不足、低端过剩的竞争态势依然存在，这些因素使得企业不可能再保持过去的高速增长态势。

6.3.3 内部面临的问题

目前，齿轮行业的现状是中小型企业多、民营企业多、受环境干扰多，名牌少、技术少、资金少。而这三多、三少的弊端将不同程度地影响，甚至限制行业的健康持续发展。

6.3.4 齿轮产业结构调整问题

在坚持改革、扩大开放的形势下，跨国公司在我国已经转变策略，由合资为主转变为独资办厂，合资独资和进口的产品占领了我国齿轮高端市场。同时，在中端市场上与我国齿轮企业进行激烈的竞争，我国大多数企业在低端市场上进行恶性竞争。我国的齿轮骨干企业正在采取兼并、联合、重组等多种形式提高行业的产业集中度，提高自主创新能力。针对齿轮产品高端市场基本为国外企业控制，中端市场由中外激烈竞争，低端市场由我国大中小企业无序竞争的现状，我国齿轮企业面临着加速淘汰低端，做强中端，扩大高端的艰巨任务。

6.4 国际合作与竞争

目前，世界经济已进入后金融危机时代，是世界经济格局发生深刻变化而又充满变数的时代。调整全球产业结构，重建世界经济新秩序成为全球经济发展的必然趋势。各国政府纷纷加大科技创新力度，大力推进战略性新兴产业发展，以赢得未来经济的主导权。只有走多元化的发展之路，依托科技支撑，加快技术创新，进一步做大做强产业，不断提高企业的核心竞争力，才是企业发展的关键。

在经济全球化大趋势下，我国齿轮企业必须要在竞争中走向成熟。正如《中国齿轮行业“十二五”发展规划纲要》中提出的那样，“学习中追赶，创新中超越，开放中学习，整合全球资源，缩短与发达国家的差距；合作共赢，靠自主创新超越，掌握产业核心技术，向产业价值链高端转移。”未来的竞争格局将是集团化趋势明显，行业集中度提高；国际大企业重心转移，纷纷加大对我国市场的投入，国内竞争国际化加剧；国外企业越来越重视中国元素，未来将专门研发针对中国市场的产品。因此，我们应采取有效措施，用信息技术改造提升齿轮行业，改变我国齿轮产品档次低和经济效益不高的状况，形成强大的先进装备制造体系等。

（1）创新产业模式，走向国际高端　“引进来”与“走出去”相结合，切实提高国际投融资合作的质量和水平，促进战略性新兴产业在国际分工新格局中占据有利地位。我国齿轮制造业应从源头上打破产业之间的壁垒，建立起广泛的合作；行业间应从技术、标准和法规、信息服务与软科学研究、品牌推广等方面全方位合作，合理利用行业资源，进行前瞻性产品的设计与开发，确保我国自主创新技术的适用性和领先性。

（2）推动国际合作　依托科技兴贸创新基地，结合产业特点，分行业领域深化国际合作。推动科技兴贸创新基地与国外研发机构和相关高技术产业园区建立战略伙伴关系。适时建设战略性新兴产业国际化发展示范基地，充分激发其引领、示范和促进作用。丰富外商投资方式，拓宽外资投资渠道，不断完善外商投资软环境。继续支持引进先进的核心关键技术和设备。鼓励我国企业和研发机构在境外设立研发机构，参与国际标准制订。扩大企业境外投资自主权，支持有条件的企业开展境外投融资。完善相关出口信贷、保险等政策，支持拥有自主知识产权的技术标准在国外推广应用。支持企业通过境外注册商标、境外收购等方式，培育国际化品牌，开展国际化经营，参与高层次国际合作。

（3）利用全球创新资源，提升产业创新能力　在全球范围内，加强技术交流与合作，有效利用全球创新资源，不断提升我国齿轮产业的原始创新能力、集

成创新能力和引进消化吸收再创新能力。加快高端人才的培养，畅通吸纳高端领军人才的绿色通道，按照国家规定在居留、入出境、物品通关、工作生活条件等方面，为海外高层次人才来我国内地工作创业提供便利。采取持股、技术入股、提供创业基金等灵活方式，积极吸引各类高端人才，营造有利于战略性新兴产业领军人才跨境流动的良好环境。

6.5 “十二五”期间市场需求预测

国际市场：“十二五”期间，制约全球经济发展的不确定因素增加，受贸易保护主义重新抬头、人民币升值压力及出口汇率风险加大、发达国家消费水平下降和“再工业化”方针以及周边发展中国家制造业竞争力增强等因素的影响，出口竞争加剧。我国齿轮行业在保持人才和成本优势的同时，必须靠技术进步、质量提升和产品性价比等新的优势扩大出口。总体看，全行业出口将呈起伏式增长态势，预计“十二五”期间年平均出口增长率为8%左右，到2015年全行业出口总额将达到约300亿元。

国内市场：“十二五”期间，国家将继续采取刺激消费、调整结构、拉动内需和鼓励自主创新与产业升级等一系列强有力政策，深化十大产业调整与振兴规划，汽车、农机、高铁、冶金、电力、船舶、环保、工程机械和基本建设等将继续保持较好增长态势，这将为齿轮行业带来广阔的市场发展空间。

1. 汽车

我国有近14亿人口，又是全球最大的发展中国家，总体讲我国汽车产业在“十二五”期间将继续保持快速健康发展，且将进入从国家支柱产业向国家战略产业转移的重要时期。汽车产业发展的主要有利因素有：

1）“十二五”末我国城市化率将超过50%，快速的城市化建设必将使公共交通更加便捷，节能环保的大中型公交客车将持续增长。与此同时，轿车进入普通家庭，特别是小排量紧凑型乘用车将进入快速增长期。

2）村村通公路将为汽车业带来持久多层级的汽车需求。

3）消费结构升级与快捷发达的物流使旅游客车和长途运输车辆保持稳定增长。

4）铁路、公路、机场、桥梁和大型工程等的开工建设，必将拉动工程车和自卸车的增长。

5）机场摆渡、环卫清洁、除雪清障、港口运输、消防救护及特种运输等专

门用途的车辆将会进入快速增长期。

如果我国在节能环保与新能源汽车关键技术及电池、电动机、自动变速器等关键零部件上取得突破，且有完善的配套设施，则我国汽车产业不仅还能保持十年快速增长，而且能借此实现由大变强的跨越。“十二五”期间我国汽车市场将步入成熟期，乘用、商用、专用及重、中、轻、微型车辆结构将趋于合理，预计汽车产业将以 10% ～ 15% 的增速健康发展，到“十二五”末我国汽车年产销量将双双突破 3 000 万辆。

据预测，“十二五”期间我国汽车自动变速器的年均增长率约为 25%。到“十二五” 末期，汽车自动变速器的市场需求量将超过 1 000 万台。截至 2011 年年底，我国汽车保有量已达到 10 578.77 万辆，因此“十二五”期间，国家将用更大力度鼓励汽车零部件回收再制造产业有序健康发展，我国汽车变速器等总成产品的回收再制造具有巨大潜力。

2. 风电

国内市场对兆瓦级风力发电机组需求十分迫切。国家规划 2020 年风电装机容量要达到 2 亿 kW。2020 年之前，我国机组将从单机容量 2MW 提升到 3.6MW 甚至 5MW 的水平。近海风电场建设已被列入国家可再生能源规划，预计到 2020 年，我国海上风电将达到 100 万 kW。

3. 核电

根据国家核电中长期规划，到 2020 年，我国将开工建设 40 座以上百万千瓦级的核电机组，届时核电总规模相当于目前的 20 个大亚湾核电站。核电站三回路所需要的循环水泵齿轮箱在 400 台（套）左右，每年的配套产值都在 1.5 亿元以上。

4. 农业机械

“十二五”期间，农业机械总产值将达 2 500 亿元，出口贸易约 90 亿元。

5. 工程机械

“十二五”期间，工程机械社会保有量将达约 600 万台。

6. 高铁

“十二五”期间，高速铁路客运专线和城际轨道交通铺轨里程将快速增长，预计年基建投资高达 3 000 亿～ 4 000 亿元，年需求高铁齿轮箱近 8 亿元。

7. 煤机

我国煤炭产量占世界总产量的 42% 左右，产量增量占世界的 80% 以上。据预

测，到 2020 年，我国煤炭需求将达到 38 亿 t 左右。“十二五”期间自主品牌的大功率高可靠性的采煤机齿轮减速箱具有广阔的市场前景。

综上所述，“十二五”期间我国齿轮行业面临调整振兴、由大变强的历史发展机遇，国内外市场竞争加剧，国内深层次矛盾不可避免地会影响行业前进步伐，但推动行业技术进步创新发展的基本力量不可逆转，全行业在转型升级的进程中将以年均 10% 以上的增速实现稳定发展。

6.6 政策与建议

针对我国齿轮行业发展现状，特提出以下建议：

1）加快建设行业共性基础技术研发平台。目前，我国齿轮行业国家级和行业级的创新平台很少，如挂靠在重庆大学的机械传动国家重点实验室和挂靠在郑州机械研究所的机械工业齿轮传动工程实验室、机械工业齿轮传动工程研究中心。建议由国家工业和信息化部、国家科技部牵头，整合行业资源，以原有的归口院所为基础，或依托大型企业技术中心，建设行业共性基础技术研发平台。政府给予贷款贴息、无偿支助或建设经费投入等支持，企业自愿投资入股，进行行业共性技术和新产品研发，形成成果共享机制，并按市场化原则向全行业企业提供技术服务。

2）积极构建以市场为导向、以企业为主体、产学研相结合的产业技术创新战略联盟，集中优势力量攻克阶段性产品关键共性技术。在科研阶段，国家给予创新联盟立项课题研发经费支持；在产业化阶段，经联盟验收鉴定合格具备产业化水平的产品报送国家工业和信息化部等部门，经工信部审核后集中向社会发布产品公告进行公示，通过公示后产品在一定的时间内国家给予一定比例的增值税和所得税减征，并给予公告产品企业产业化技改投入银行贷款贴息、进口设备减免进口关税等支持。同时，给予采用我国首台套、首批次自主品牌的整车或主机企业一定的研发费用补贴，以降低主机企业使用自主品牌的风险，调动整机企业选用自主品牌产品的积极性。获得研发补贴的整机企业，应在规定的时间内使用一定数量的自主品牌产品，并以此为补贴验收标准。此外，以高于正常出口产品 5% 的出口退税率支持公告内产品出口企业。

3）中央和地方设立“新兴产业关键基础件专项创新基金”，加大对齿轮行业国家级和省级企业技术中心的资金支持力度。

4）在行业统计信息、产品准入、打假维权、行业自律、品牌推介等方面赋

予行业组织一定的权限。充分发挥行业协会在规范市场管理，推动宏观政策措施落实，为企业提供技术、管理、信息、咨询服务及在协调、沟通、监督、评估等方面的作用，使之成为政府与企业之间的桥梁。参照成熟市场经济国家的通常做法，将政府现行管理职能中适宜于社会中介组织承担的工作转移或移交给行业组织，一些重大项目委托行业组织实施。

5）对基础技术研究，组织研究院所、高等院校对基础标准、设计方法、检测方法进行联合研究；积极开展联合创新，如组织自动变速箱科研与产业化，工业变速箱外观设计，数控研齿、切齿、磨齿装备开发等。

6）进一步规范国内市场竞争，建立情况交流机制、行业协调机制、共同对应机制、质量保证机制等，制止恶性竞争。

7）重点培养有远见卓识和魄力的企业家、理论水平高的专家学者、身怀绝技的高级技师三类人才。

8）努力宣传基础零部件在装备制造业发展中的重要地位，把发展基础零部件高端产品作为重大装备自主化的战略性问题来抓。各级政府结合自身产业优势，研究制定积极支持本地区机械基础件行业发展的政策。

9）制定鼓励主机厂采用首批国产关键零部件新品的优惠政策，对创新产品给予税收减免的优惠政策。对于产业急需且国内尚无法满足要求的产品，给予进口免税的优惠。

10）制定鼓励企业加大技术创新、技术改造投入的政策，对创新和技术改造投入在 5% 及以上的企业，实行所得税减免政策。对零部件企业进行海外兼并等，以资本运作方式吸纳先进技术和创新发展的新产品给予重点支持。

11）加大对基础零部件行业共性技术服务平台的支持，促进建成较为完善的新产品开发、性能检测鉴定、行业信息与数据库等技术服务系统，提高面向全行业服务的能力和水平。

12）积极与冶金部门协调齿轮零部件对高品质钢材和特殊钢材的需求，逐步提升齿轮零部件用材国产化率。

13）齿轮行业要跟踪国际先进技术发展趋势，注重与国际标准接轨，积极参与国际标准制订、修订工作，从整体上提升行业水平，促进自主创新产品进入国际市场。相关行业组织要积极参与国家和行业标准的宣贯工作，提高行业贯彻标准的水平。

第 7 章

我国齿轮产业的发展战略和发展目标

7.1 我国齿轮产业的发展现状与面临的形势

7.1.1 发展现状

1. 形成了规模大、门类齐全、基础坚实的产业

经过新中国成立以来 60 多年的发展，我国齿轮产业的规模不断扩大，2010 年齿轮产品的生产规模达到了 1 450 亿元，进入世界三强，已成为我国机械基础件中规模最大的行业和名副其实的世界齿轮制造大国。目前已基本形成了门类齐全、能满足主机行业一般配套需求的生产体系，为装备制造业的发展提供了重要的支撑和保障。我国齿轮产品正经历从中低端向高端的转变，少数高端产品已达到国际先进水平，2004 — 2010 年我国齿轮国内销售额如图 7-1 所示。

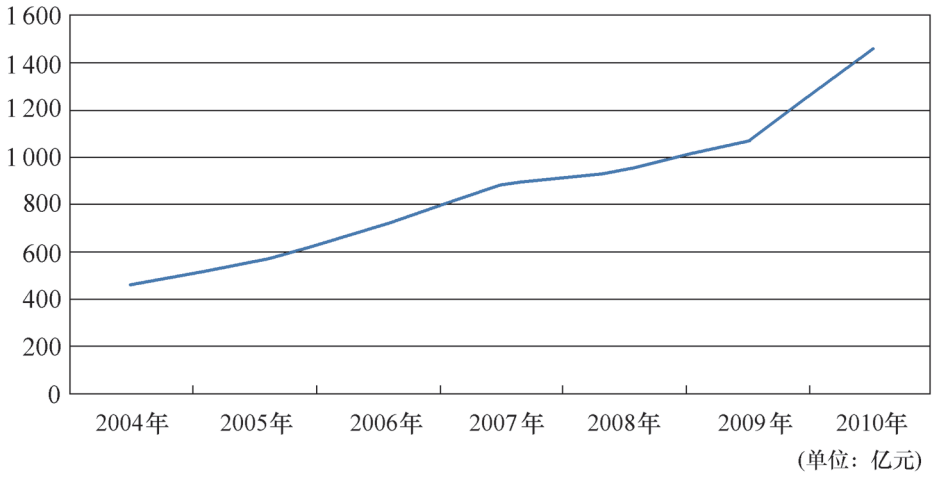


图 7-1 2004 — 2010 年我国齿轮国内销售额

2. 装备水平不断提高，配套能力不断增强

近年来，国内进口了大量的高效精密齿轮加工装备、热处理生产线、检验检测仪器及试验装置，大大提升了齿轮产品的生产能力、生产效率、制造及检验精度等，从装备总体水平来看，我国与世界先进水平不存在明显差距，部分装备（如数控成形磨齿机）在数量和规格上处于世界领先水平。

配套能力不断增强。齿轮、轴承、紧固件等机械基础件国内平均市场占有率

达到 65% 以上。基础制造工艺取得了明显进步，重点工程和重大设备的国内配套能力逐步提升，如郑州机械研究所、江苏泰隆减速机股份有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司先后研制出为福清 / 方家山、红沿河 / 宁德、防城港 / 昌江百万千瓦级核电站循环泵配套的大型行星齿轮箱；南京高精传动设备制造集团公司、重庆齿轮箱有限责任公司、杭州前进齿轮箱集团有限公司等开发的兆瓦级风电增速箱已基本可以满足国内市场需要，部分产品实现了出口；南车集团戚墅堰机车有限公司、郑州机械研究所开发的高速机车和重载货运机车驱动单元已批量装备部分机车等。

齿轮产业聚集效应明显体现。重庆、常州两大齿轮产业集聚区的产值占全国齿轮行业的 17%，洛阳、太原、天津、杭州 - 宁波、沈阳 - 大连等传统工业齿轮生产基地的产业规模稳步发展。基础制造工艺专业化水平不断提高，在主要装备制造业集聚区建设了一批高水平、专业化的基础制造工艺中心，如江苏泰州和大丰的精密锻件产量超过全国精密锻件产量的一半。

3. 产业技术显著提高，市场竞争能力有所增强

技术进步成效显著。“十一五”期间，齿轮产业固定资产投入持续稳定增长，装备水平明显提升，长期以来制约产品寿命、可靠性和精度保持性等质量问题有所改进，一批研究成果获国家科技奖。

齿轮产业连续七年来保持年均 20% 以上的增速，产业技术显著提高，产品结构不断优化和提升，国内市场发展势头强劲。重大技术装备自主配套能力显著提高，国际竞争力进一步提升。

7.1.2 面临的形势

尽管近年来我国齿轮装备制造业水平得到了大幅度提升，大型成套装备能基本满足国民经济建设的需要，但高端齿轮产品却跟不上主机发展的要求，高端主机的迅猛发展与与之相配套的齿轮产品供应不足的矛盾日益凸显，已成为制约我国重大装备和高端装备健康发展的瓶颈。

1. 行业存在的问题

（1）高端产品大量依赖进口，核心技术受制于人　2010 年，齿轮产品进口 106.1 亿美元，占通用零部件全行业进口 135 亿美元的 78.5%，齿轮进出口贸易逆差 78.9 亿美元，而通用零部件全行业的贸易逆差为 65 亿美元，高端齿轮产品的大量进口是导致全行业贸易逆差的主要原因。如汽车自动变速器、高速列车驱动单元、大型火电齿轮调速装置、大型核电行星齿轮箱等核心技术受制于人而大量进口。

（2）产业结构不合理，产品品质差距明显　齿轮行业中低档产品产能过剩而导致竞争激烈，高档产品需求强劲但能力不足，低层次重复建设、同质化恶性竞争逐渐加剧。据初步统计：高档产品占比约 10%，中档产品占比约 50%，低档产品占比约 40%。产业集中度低，车辆齿轮 CR8 不到 22%，工业通用齿轮和工业专用齿轮 CR8 也分别仅为 38% 和 32%。专业化生产程度低，具有国际竞争力的大型企业集团和具有知名品牌的“专、精、特”企业群体尚未形成。

高端齿轮产品品质明显偏低，产品在性能、可靠性等方面与主机用户的需求之间还存在一定差距。产品内在质量不稳定，精度保持性和可靠性低，寿命仅为国外先进产品的 1/3 ～ 2/3，产品生产过程的精度一致性与国外同类产品水平相比差距明显。生产工艺水平和管理水平有待提高。优质、高效、节能、节材的先进制造工艺和自动化、数字化装备的普及程度还不高，生产效率、能源消耗、材料利用率及污染排放等与国际先进水平相比均差距较大。

（3）高级技术人才缺乏，装备智能化、集成化水平低　由于齿轮产业发展迅速、人才培养周期长等原因，导致行业内高级创新型技术人才缺少，产业技术工人匮乏现象比较普遍，人才的争夺和竞争已成为影响企业快速发展的原因之一。目前行业内工程技术人员占在职人员的 5% ～ 6%，而在一线从事设计、工艺的人员不足 2%。高档设备少，中低档设备多，规模以上企业高档设备占比约 1%；数控设备少，机动电动设备多；单机工作多，自动化、智能化成线生产设备少；手工抽检多，在线检测少，行业内现有专机水平与国外差距明显。

2. 市场存在的掣肘

（1）市场问题　齿轮行业面对国内、国外两大市场，国内市场的现状是中低端产品在品种和数量上基本可以满足市场要求，在价格、服务等方面具有竞争力。高参数产品依然依赖进口，而且国外在华独资、合资企业日益增多，产能逐步增大，除占领高端市场外，还在逐步蚕食中低端市场。由于国内企业多数为中小企业，在资金、技术、管理方面存在差距，国外企业产品输入我国，冲击一部分国内市场。外企在我国建厂，就地生产并在国内销售，对国内的市场造成较大冲击。

国际市场方面主要是产品向海外出口。目前通用零部件行业中紧固件、链条、链轮行业每年出口额递增较快，出口量已占国内产量的 1/4 ～ 1/3，并仍有持续增长的趋势。齿轮行业近年来进口额逐年增加，2010 年比 2004 年进口额增加了 4 倍，但出口增加不明显，2010 年出口额仅为 2004 年的 1.77 倍，一直维持在

15 亿～ 30 亿美元的范围内。图 7-2 所示为 2004 — 2010 年我国齿轮进出口情况。这种情况应引起全行业及相关组织和政府部门的反思，应对此进行深入的调查研究，在提高出口产品质量和技术附加值上形成合力、多下工夫，以增强出口产品的后劲，摆脱目前的行业窘境。

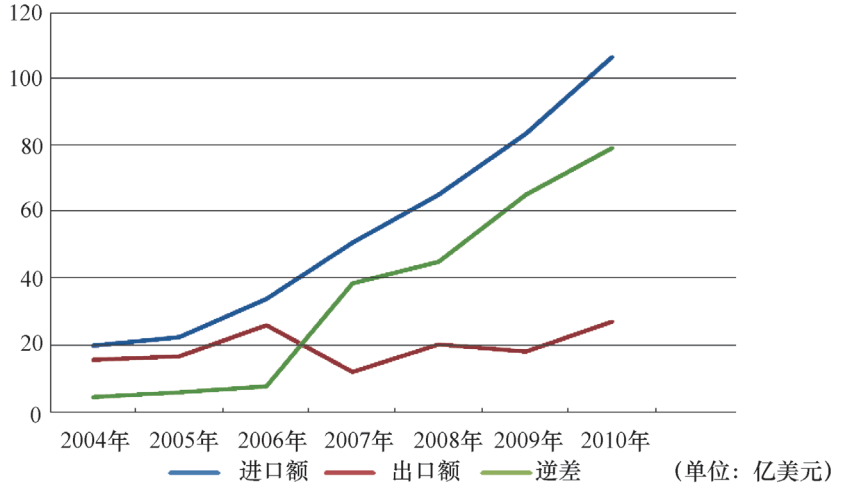


图 7-2　2004 — 2010 年我国齿轮进出口情况

（2）齿轮材料及热处理问题　齿轮材料及热处理技术涉及齿轮材料种类及冶金质量、毛坯的制造方式和内在质量、齿轮热处理方式及热处理质量等。齿轮材料及热处理技术已成为制约我国齿轮产品质量和性能进一步提高的重要因素。齿轮材料向着多品种、高品质、经济性方向发展，齿轮热处理技术及装备向着控制精准化、生产高效低耗方向发展。目前，我国齿轮及热处理方面存在以下问题：

1）齿轮材料品质较低，铸锻件缺陷较多，一些特殊要求的材料，如直升机高温高硬度齿轮钢、高寒气候用军用车辆低温抗冲击齿轮钢、低应力感应淬火齿轮钢等缺乏。

2）齿轮渗碳淬火变形大，磨齿时容易出现磨削裂纹、烧伤和磨削台阶，且渗碳周期较长、能耗高，易产生内氧化，影响齿根弯曲疲劳强度；渗氮渗层薄，不适合较大模数的齿轮，若增加层深，时间太长，而且合金成分控制困难；感应淬火齿轮易出现齿根淬火开裂，硬化层与心部的过渡层薄弱，往往引起早期疲劳剥落，严重影响齿轮承载能力和可靠性。

齿轮材料多为专用的合金钢，如果齿轮材料的品质问题无法解决，则会成为制约我国高端齿轮产品发展的主要瓶颈。因此，齿轮制造企业与齿轮钢生产企业联合

开发适合我国不同齿轮要求的高性能齿轮钢，提高现有齿轮钢品质已刻不容缓。

（3）关键制造与测试设备问题　齿轮及其装置对每个零部件的尺寸精度一致性、性能可靠性和互换性的要求都很高，批量产品更是如此。如果没有高精度和高效率的加工设备，企业在激烈的竞争中很难生存和发展。我国齿轮生产企业的关键设备主要依赖进口，由于对设备的磨损与消耗较大，设备需要不断更新和改造。而进口设备及备件价格昂贵，如果要想加快行业发展速度，必须尽快解决关键设备的供应问题。

（4）新产品开发速度问题　近些年来，我国齿轮产品的设计水平不断提高，与发达国家的差距总体有逐渐缩小的趋势，但总体水平仍有明显差距。尤其是中小企业缺乏技术力量及人才，缺乏资金和必要的仪器设备，缺乏有关科技信息和技术交流，致使长期处于跟踪和模仿阶段，很少有自己的知识产权，对产品的开发研究较少，不少企业不具有独立研究开发的能力，这也是制约行业整体水平提高的关键问题之一。

（5）体制与管理问题　改革中，由于中央实行“抓大放小”的政策，众多机械零部件行业的中小企业已经进行了各种改制，或为股份制，或为合作制。体制的改革会对政企分开和企业搞活起到积极作用；但更需注意的是，随着企业规模的增大、产品品种的增加和用户及出口交货的增多，必须要有相应水平的管理才能适应。而机械零部件行业中许多企业在管理方面还处于非常原始的水平，许多企业在加强管理和采用现代化管理手段等方面不够重视，尤其是电子信息技术方面的力量不足，没有相应的设备和人员，落后于国内机械行业的平均水平。

3. 发展存在的瓶颈

（1）自主创新能力严重不足　我国齿轮行业存在“两弱两少”的问题，即基础理论研究弱，参与国际标准制订力度弱，原创技术少，专利产品少，设计和制造技术还不能完全摆脱模仿。行业内没有一家国家级的工程技术研究中心，技术人员主要忙于应付市场，难以集中精力搞研发，研究力量薄弱，基础研究更是几近空白。与国外先进水平相比，研发周期是国外同类产品的 2 ～ 3 倍，新产品贡献率为国外的 1/10，总体技术水平落后于国外产品 6 ～ 10 年。自主创新投入少且分散，我国齿轮行业大多是中小企业，用于科研开发及新产品研制的资金十分有限。

（2）产业集中度低　由于低端齿轮产品的技术门槛较低，大量粗放式的、达不到经济规模的小型企业不断涌现，导致低中端产品市场竞争激烈，相当多的产品缺乏市场竞争力。

（3）制造技术和工艺装备发展缓慢，加工设备数控率和自动化水平低　大多数企业老旧设备占到 80% 以上。对基础件寿命和可靠性至关重要的先进热处理、表面处理、试验检测等工艺装备缺乏，造成工序能力指数低，一致性差，产品加工尺寸离散度大，产品内在质量不稳定，严重影响了齿轮的精度、性能、寿命和可靠性。

（4）高层次技术人员匮乏，人员素质亟待提升　齿轮专业涉及的技术领域较广，制造装备操控难度较大，全国无一所高校设有齿轮本科专业，导致齿轮技术人员和技术工人培养周期长，而且全行业人才培养体系不健全，不仅高技术人才缺乏，专业技术人员尤其是技术工人的总量也不足。

7.2　我国齿轮产业发展的指导思想

深入贯彻落实科学发展观，以自主创新为驱动力，以产业结构调整和转变发展方式为主线，围绕重大装备和高端装备发展的配套需求，以产品突破为主攻方向，密切产需合作，加强基础技术研究，突破关键技术，加速创新能力建设，推进产品质量、可靠性和寿命的持续提高，提升齿轮产业整体水平和国际竞争力，加快齿轮制造业由大变强的进程。

7.3　我国齿轮产业发展的基本原则

1. 以自主创新为中心

充分发挥技术创新的支撑和引领作用，突破影响齿轮产品性能、质量和可靠性的关键共性技术，加强行业公共研发和技术服务平台建设，健全以企业为主体、产学研用相结合的技术创新体系，加强人才培养、国际合作与技术和智力的引进、吸收与再创新工作。

2. 以重大装备需求为依托

围绕国家重点工程、重点领域和战略性新兴产业对重大装备的需求，突破关键技术瓶颈，掌握一批具有自主知识产权的核心技术，提升齿轮产品的服役寿命、可靠性、精度一致性和稳定性，摆脱高参数齿轮产品长期依赖进口、进出口逆差逐年扩大的局面。

3. 以培育专业化企业和知名品牌为抓手

鼓励企业通过兼并重组发展具有国际竞争力的大企业集团；推进产业集聚区的快速发展；积极引导中小企业向“专、精、特”方向发展，形成优势互补、协调发展的产业格局。

引导企业加大技术创新投入，通过开展关键技术和新工艺研究及产品开发，打造具有自主知识产权的知名品牌。

4. 以重点突破为途径

选择一批基础条件好、需求迫切、带动作用强的产品，集中优势资源，加大支持力度，突破发展瓶颈，打造一批具有国际先进水平的关键产品和知名品牌，提升产业的整体水平，带动产业的持续、快速、全面发展，尽早实现从“中国制造”到“中国创造”的新跨越。

7.4 我国齿轮产业的发展目标

7.4.1 “十二五”发展目标

突破共性关键技术，优化产业结构，提升行业整体竞争能力，扭转高端齿轮传动装置及其零部件长期依赖进口的局面。加强自主创新，培育行业可持续创新能力，为跻身世界齿轮强国奠定基础。

（1）突破和掌握可持续发展领域核心技术，提升前端研发能力和高端制造能力　自主品牌汽车自动变速器实现产业化，时速 200km/h 动车与 5MW 风电齿轮传动装置实现自主化；重大装备零部件自主化率达到 85%，重大装备关键零部件自主化率达到 70%；行业平均研发投入占销售收入比重提高到 1.2%，新产品产值占工业总产值比重提高到 35%。

（2）优化产业结构，提升行业整体竞争实力　培育 3 ～ 5 个内资主导的国际化程度较高的具有国际竞争力的跨国企业集团和世界知名品牌，构建 5 个年销售规模超过 50 亿元的齿轮制造基地，打造 2 个年销售规模超过 200 亿元的产业集群，形成 20 个参与国际分工的“专、精、特”专业化零部件制造企业，产业集中度提高 10%。

（3）转变增长方式，提升产品质量，向产业价值链高端转移　原材料利用率提高 5% ～ 10%；单位增加值能耗降低 15%；重大装备齿轮传动装置质量水平满足主机要求，行业骨干企业质量水平达到同类产品国际先进水平；现代服务业销售额占比提高 15%。

（4）产业规模、市场份额稳定增长　“十二五”期间年均增长率为 15%；国内市场占有率提高到 85%；2015 年全行业销售规模达到 2 940 亿元，出口额达到 50 亿美元。

（5）构建行业创新体系，打造三支人才队伍　行业技术中心 1 家；国家工程实验室 2 家；工程技术中心 3 家；产品检测中心 5 家；国家认定的企业技术中

心 8 家；骨干企业高层管理人员工商管理培训面达到 95% 以上，中层管理人员工商管理培训面达到 60% 以上；工程硕士培训面达到 10%；“十二五”期间向行业输送高素质现代职业技术工人 500 名。

7.4.2 面向2030年的发展目标

1. 总体目标

1）建立国家级的基础研究和技术推广应用创新平台，提高我国齿轮行业的技术创新能力。

2）建立先进完善的齿轮标准化体系，2020 年齿轮标准化进入世界前五强，2030 年齿轮标准化进入世界前两强。

3）通过提高齿轮类零件近净成形比率等方式，年均提高齿轮材料利用率 2% 以上，到 2020 年总体提高 25% 左右，到 2030 年总体提高 50% 左右。

4）齿轮产品功率密度年均提高 4% 左右，到 2030 年功率密度提高 1 倍。

5）稳步减小齿轮传动的功率损耗，到 2030 年功率损耗减小 50%。

6）齿轮制造精度到 2020 年提高 1 级，到 2030 年再提高 1 级。

7)汽车齿轮使用寿命到2020年提高2～3倍,到2030年达到寿命期内不失效。

2. 齿轮基础技术

1） 在新齿形和新传动研究方面取得突破，研究出一些传动效率高、承载能力强、制造和检测比较容易的新齿形和新传动。

2）依托专业研究院所和高等院校建设公共研究平台，加大资金投入，建立研究和成果共享机制，持续进行包括齿轮材料极限应力、金相组织图谱测定及载荷谱搜集、试验等齿轮基础研究，建立并不断完善齿轮基础数据库。

3）建设面向全行业的现代化的齿轮产品测试服务平台，加强人才队伍和试验测试能力建设，制订产品试验测试标准和规范，满足企业产品测试、评价和改进服务方面的要求。

4）建立齿轮行业先进完善的标准化体系，使齿轮标准化进入世界强国行列。

3. 关键设计技术

1）强力开发先进的多学科耦合设计、分析软件。

2）加强动力学研究，将动力学设计、减振降噪和齿轮修形结合起来，提升产品档次。

3）攻克机电液复合传动核心技术，使汽车自动变速器立足国内制造。

4）开展热平衡试验研究，降低功率损耗，使齿轮传动装置的强度功率和热功率相匹配。

5)突破功率分流、合成及余度设计技术，解决舰船、飞机等重要装备功率分流、合成及备份问题。

4. 关键加工技术

1）攻克齿轮近净成形技术和模具制造技术，逐年提高汽车齿轮类零件和轴类零件的近净成形率。

2)攻克齿轮干切削及超硬加工技术，年均提高齿轮干切削及超硬加工率5%左右。

3）开展大型齿轮等零件修复技术研究，实现大型和贵重零件再制造。

4）研究微齿轮等微零件制造技术，满足超小体积传动装置的需求。

5）提高生产效率，平均每 5 年缩短生产周期 10% ～ 15%。

6）研究齿轮制造工艺，提高圆柱齿轮和锥齿轮的制造精度。

5. 齿轮材料及热处理技术

1）提高齿轮钢材和铸锻件的冶金质量，降低钢中含气量和非金属夹杂物，含气量分别达到：含氧量≤ 10 μg/g，含氢量≤ 2 μg/g，含氮量≤ 50 μg/g；控制齿轮钢的淬透性带宽，上下限波动小于 3HRC。

2）开发高温高性能钢、低温耐冲击钢、高压气淬微变形钢、快速渗氮钢及沉淀硬化钢等各类特殊性能齿轮钢，开发齿轮用高强度塑料等非金属材料。

3）攻克渗碳和渗氮催渗技术，提高生产效率；攻克深层渗氮技术，提高渗氮齿轮承载能力，扩大应用范围。

4）研究齿轮感应淬火工艺应力形成机制和规律，优化淬火工艺，控制残余应力，克服淬火开裂；研究多频感应加热淬火及感应压床淬火新工艺。

5）研究复合热处理齿面强化技术以及高能密度硬化及喷丸强化等技术，提高齿轮的承载能力和可靠性。

6）研究齿轮精密形变热处理技术，提高齿轮强度和生产效率。

6. 润滑、冷却与密封技术

1)根据不同传动载荷和工况需求，开发高品质、多品种、少无污染的润滑介质。

2)研究固体润滑、气体润滑、自润滑技术，满足特殊服役环境齿轮传动的需求。

3）研究密封技术，开发各种性能优、寿命长的密封件，解决齿轮箱漏油和频繁更换密封件的问题。

4）开发高承载能力、高可靠性、长寿命轴承，改变高参数齿轮箱轴承几乎全部依赖进口的局面。

5）开展摩擦学设计和油液检测与故障诊断技术研究。

7. 关键工艺装备技术

1）开发高精、高效、大型数控圆柱齿轮磨齿机和锥齿轮磨齿机，改变我国

大型数控磨齿机依赖进口的局面。

2)开发干式滚齿机和硬齿面滚齿机，开发大型锥齿轮铣齿机等专用铣齿机床。

3）开发高效滚齿刀具，研发刀具涂层材料和技术，扩大硬质合金、CBN 刀具的应用；开发材料切除率高、寿命长、修整频率低的磨齿砂轮。

4)开发高级数控感应淬火机床，开发新型智能、高效、低耗、环保的齿轮渗碳、渗氮等热处理设备。

5）开发基于激光跟踪测量技术和室内激光雷达等技术的特大型齿轮在位测量系统，开发基于光纤测头的微型齿轮测量机，开发结合机械手上下料的、耦合在齿轮生产线上的齿轮快速分选测量机等。

7.5 我国齿轮产业的重点发展方向

1.“十二五”期间齿轮行业重点发展产品（表7-1）

表 7-1 “十二五”期间齿轮行业重点发展产品

序号	名称	技术参数
1	大功率风力发电齿轮箱	功率大于等于 2MW，噪声小于等于 95dB，机械效率大于等于 97%，寿命大于等于 20 年
2	高速列车齿轮传动装置	列车时速大于等于 200km/h，功率为 1 800kW，输入转矩为 3 500N·m，输入转速为 2 255 ～ 6 000r/min，传动比大于等于 7
3	节能环保自动变速器及关键零部件	自动变速器：百公里综合油耗降低 5% ～ 10%，寿命达到 30 万 km 行星排：适用于乘用车的国际先进水平的行星传动。模数为 1.5mm，齿宽为 10 ～ 20mm，精度为 DIN7 级（内齿）、DIN6 级（外齿），综合重合度大于等于 3，传动比为 0.6 ～ 2.7，行星架动平衡小于等于 16g·mm，噪声小于等于 65dB，传动效率大于等于 98% 金属带：带环各层受力不均匀度小于等于 5%，带环拉应降低 20% ～ 27%，轴向压力减少 20%，金属带传动效率提高 1.2%，百公里综合油耗降低 5%，寿命达到 30 万 km 锥轮锥盘：锥面角度公差小于等于 40″，两轴径同轴度小于等于 0.008mm，球道跳动小于等于 0.012mm，寿命大于 25 万 km 电磁阀：比例流量阀额定电压为 12V、额定压力为 10MPa、输出流量为 0 ～ 9L/min，最大电流为 2.4A，滞环 8%，响应时间小于 10ms；比例压力阀额定电压为 12V，额定压力为 10MPa，输出压力为 0 ～ 8MPa，滞环 5%，响应时间小于 10ms；高速开关阀额定电压为 12V，额定压力为 1.5MPa，流量为 2.3L/min，响应时间小于 5ms TCU：电磁兼容性能达到国际先进水平，寿命大于等于 6 000h 变矩器：变矩比为 1.7 ～ 2.3，能容为 5.0 ～ 200N·m，最大效率大于等于 85%

（续）

序号	名称	技术参数
4	舰船用大型齿轮传动装置	功率为 3 ～ 5MW，噪声小于等于 90dB，转速大于等于 3 000r/min
5	核电循环水泵齿轮箱	承受泵推力型齿轮箱：功率为 6 500kW，输入转速为 745r/min，传递转矩为 456kN·m，承受泵的最大推力为 1 438kN，承受泵的最大径向力为 37kN 不承受泵推力型齿轮箱：功率 6 500kW，输入转速为 994r/min，传递转矩为 585kN·m
6	工程机械及矿山机械用液力变矩器、动力换挡变速箱	全区段（＞ 100km）负载变速，速度范围为 0 ～ 120km/h，传递功率达到 350kW，整机功率在 220kW 以上
7	大功率采煤机齿轮箱	采高范围为 2.5 ～ 4.5m，截深为 800 ～ 1 000mm，截割功率与供电电压为 2×750kW、3 300V，生产能力大于等于 3 000t/h，摇臂大修周期为 5Mt，整机大修周期为 10Mt，设计寿命为 20 000h
8	掘进机齿轮传动装置	定位最大可掘高度为 5m，定位最大可掘宽度为 6m，截割硬度为 80 ～ 100MPa，截割电动机功率为 300 ～ 360kW，总功率为 550kW，设计寿命为 15 000h
9	污水处理用高速齿轮箱	功率为 100 ～ 2 000kW，输入转速为 2 980 ～ 29 700r/min，增速比为 3.22
10	湿式制动驱动桥	整机功率在 160kW 以上
11	大吨位集装箱叉车及正面吊运机变速箱和驱动桥	起重能力大于等于 20t，主传动比为 3.7，轮边传动比为 6.35，最大载荷为 27t，最大输入转矩为 5 100N·m，最大输出转矩为 100 000N·m
12	水稻收割机驱动桥箱总成	总成平均传动效率大于等于 96.5%，离合器总成传递转矩大于等于 260N·m，前进挡、空挡的噪声小于 90dB，倒挡、超速挡的噪声小于 93dB
13	运梁车、架桥机齿轮传动装置	起重能力大于等于 900t，架桥机齿轮箱输入功率为 30kW，输入最高转速小于 50 00r/min，输出转速为 3.8r/min，速比为 252，运梁车齿轮箱输入功率为 7.5kW，输入转速为 1 440r/min，速比为 200；重型运输车转向器的轴向载荷大于等于 40t，转向角大于等于 ±100°，或实现 360° 转向

（续）

序号	名称	技术参数
14	机电一体化高精度驱动模块（齿轮减速机）	输入功率为 0.12 ～ 200kW，输出转矩为 1.4 ～ 62 800N·m，调速范围为 1:12 000，分辨率为 10 000p/r，速率环刷新率为 1 ～ 20kHz，位置环刷新率为 1 ～ 20kHz，动态跟踪误差在 5 个脉冲当量以内
15	精密中小模数蜗杆副	模数为 0.5 ～ 6.0mm，蜗杆头数为 1 ～ 7，ISO/GB3 ～ 6 级
16	超大模数齿轮齿条传动装置	提升载荷为 80 ～ 480t，满足美国和中国船级社（ABS，CCS）的规范要求，模数大于 60mm，硬齿面和中硬齿面
17	高速高精齿形链系统	汽车发动机高速高精正时链系统和变速器 Hy-Vo 齿形链系统：抗拉载荷大于等于 14kN，1 200h 试验伸长率小于等于 1%，硬度达到 53HRC，硬度散差为 ±0.5HRC，清洁度小于等于 20mg/kg，可靠性大于等于 99.9%
18	高精特齿轮	采用近净成形等先进制造工艺生产的高性能、长寿命、中小模数、复杂异形齿轮零件，适合绿色、高效、超大批量生产，精度为 4 ～ 5 级
19	隧道掘进机和采煤机用鼓形齿联轴器、膜片联轴器、电磁离合器和智能化制动器	回转直径为 220 ～ 520mm，许用转矩为 12 000 ～ 51 000N·m；齿型材料为铬镍合金，精度等级超过 6 级，进行碳氮共渗热处理
20	轨道交通制动器	压力为 750 ～ 900kPa，紧急制动响应时间小于等于 1.7s，最大载荷下列车紧急制动距离小于等于 215m，平均制动减速度为 1.0m/s^2，紧急制动减速度为 1.2m/s^2，常用制动冲击率为 0.75m/s^2，计算用制动粘着系数为 0.14 ～ 0.16，停放制动要求满足 AW3 载荷

2. “十二五”期间机械通用零部件重点发展的15项标志性基础制造工艺

（1）定向凝固铸造技术　研究定向凝固工艺，目标产品是大功率重型燃气轮机用定向结晶高温合金叶片，叶片尺寸大于等于 350mm。

（2）热风长炉龄冲天炉及其熔炼工艺技术　研究开发生产率为 15 ～ 50t/h 系列外热风、水冷长炉龄（12 周以上）热风冲天炉及其熔炼工艺，使铸铁件生产过程高效、连续，质量稳定，节能降耗。

（3）高紧实度粘土砂自动造型技术　开发 100 型 /h 以上，型砂密度在 1.6

以上，设备故障率小于等于 3% 的湿砂有箱自动造型技术，满足提高铸造机械化、自动化的需求。

（4）板材管材精密成形技术　开发板材成形模具智能化 CAD/CAE 系统，成形材料扩展到钛合金、高温合金、轻合金、高强钢等；目标产品是汽车车身覆盖件。开发管材成形技术，管材内高压为 600MPa，材料抗拉强度为 780MPa，直径与厚度比达到 180，壁厚小于 2mm；目标产品是排气管、重载货车后桥桥壳。开发大口径厚壁无缝钢管成形工艺，目标产品是超临界和超超临界火电、第三代核电用的耐高压大口径厚壁无缝钢管。

（5）冷 / 温精确成形技术　开发冷温精确成形机理与新成形方法，长寿命模具技术。实现冷 / 温精确成形锻件占模锻件总量的 10% ～ 12%，目标产品是轿车等速万向节、变速器齿轮等。

（6）大型复杂结构件精密体积成形技术　开发超大型钢锭材料成分纯净度与组织控制技术、大锻件内部缺陷形成机制与控制技术、大锻件模拟技术。提高材料利用率 5% ～ 10%，降低能源消耗 10% ～ 15%，目标产品是航空航天发动机涡轮盘。

（7）热精锻成形技术　开发精密制坯技术、自动润滑技术、生产线自动化技术。材料消耗平均降低 3% ～ 5%，热模锻件公差为 13 级，平均能耗降低 10%，目标产品是汽车前后桥锻件、螺杆锻件。

（8）激光及激光电弧复合焊接技术　掌握激光及激光电弧复合焊接技术，目标产品是 200mm 以上厚钢板焊接，焊接尺度在 100μm 量级，空间分辨率在几十微米尺度的微连接。

（9）搅拌摩擦焊技术　建立 0.3 ～ 50mm 厚度范围内轻合金材料搅拌摩擦焊性能数据库、工艺规范和技术标准，目标产品是大厚度铝合金结构件、航空发动机整体叶盘。

(10) 化学热处理催渗技术　开发化学热处理（渗氮、渗碳）催渗技术工艺规范和技术标准，控制软件、催渗剂，保证 0.3 ～ 2.0mm 渗碳层的热处理节能 30% 以上。

(11) 精密可控热处理技术　开发精密可控热处理技术、渗碳和渗氮控制软件、远程控制和远程故障诊断技术，使齿轮和轴承等内在质量和表面性能高、无变形和脱皮。

(12) 铝合金、镁合金、钛合金件表面处理与强化技术　开发铝合金、镁合

金微弧氧化工艺技术，使铝合金、镁合金制品表面氧化膜层大于300μm，显微硬度超过3 000HV，绝缘电阻大于100MΩ，耐磨损、耐腐蚀、绝缘性能有较大改善。开发钛合金化学镀镍渗铝工艺技术，使650℃耐高温钛合金制品经化学镀镍（层厚20μm）后，抗氧化性能大幅度提高。

（13）纳米颗粒复合电刷镀技术　开发电刷镀Ni-SiC复合镀层技术，修复磨损失效的零件，改善零件表面性能，大幅度提高零件硬度。

（14）超精密加工技术　开发微量切削机理、精密测量技术和误差补偿技术，目标产品是芯片、磁盘、光盘、磁鼓、制导用激光反射镜、导航用陀螺仪、卫星姿态控制用半球体以及多种球面和非球面微光学元件等精密关键零件。

（15）低温与微量润滑切削技术　开发微量润滑系统及低温微量润滑复合系统，针对不同工件材料及切削工艺提供微量润滑和低温微量润滑条件下的刀具匹配方案，优化切削参数，建立相应的切削规范和切削数据库，实现高速切削的绿色化。

3.“十二五”期间机械通用零部件重点发展的12种标志性基础材料

（1）高性能轴承钢　汽车、风电、铁路车辆轴承用高碳铬轴承钢（GCr15、GCr18Mo）、渗碳轴承钢（G20Cr2Ni4A、G20CrNi2MoA）、中碳轴承钢（G56Mn、G42CrMo4）。

（2）高性能齿轮用钢　汽车变速器齿轮和汽车后桥齿轮及飞机、坦克发动机齿轮用合金渗碳钢（碳的质量分数为0.10%～0.25%，相当于20Cr2Ni4、18Cr2Ni4WA）。

（3）高强度紧固件用钢　汽车紧固件用钢（相当于10B18M）、汽轮机紧固件用钢（X18CrMoWVNbN1）。

（4）大型、耐蚀模具钢　厚度超过600 mm，无损检测级别达欧洲E/e级制造级进模具的高精度高质量冷作模具扁钢和中厚预硬模具钢，表面到心部硬度波动不大于3HRC高耐蚀耐磨镜面塑模钢，大型铝、镁合金轻金属压铸模具钢。

（5）高可靠性密封材料　高抗水解聚醚聚氨酯液压用密封材料，高性能柔性石墨密封材料，金属O形密封圈、C形密封圈用因科涅600、750，高强度细颗粒机械用碳石墨材料。

（6）机床专用钢　机床滚珠丝杠和直线导轨用GCr15及新钢种。

（7）超硬刀具材料　金刚石（PCD）、立方氮化硼（PCBN）、硬质合金（YG、YT、YW）。

（8）新型焊接材料　高强高韧焊接材料，耐热、耐蚀、耐辐照、耐磨及耐低温焊接材料，无毒绿色钎焊材料及焊剂。

（9）液压铸件用材料　高压柱塞泵 / 马达壳体、高压整体式多路阀体、大功率液力偶合器泵轮及壳体铸件用球墨铸铁、蠕墨铸铁。

（10）高应力弹簧钢　高档车用高应力悬架弹簧钢（相当于 UHS1900/2000）、高应力气门弹簧钢（相当于 OTEVA70/OTEVA90 或 SWOSC-VHV/SWOSC-VHR）。

（11）绝缘材料　百万千瓦级水轮发电机组用绝缘材料，大型核电专用发电机用绝缘材料，风力发电机用绝缘材料，超高压 / 特高压输变电工程及配电用绝缘材料，配电变压器用绝缘材料。

（12）仪表功能材料　核电站的堆内测温铂电阻（1E 级）和堆芯测温热电偶（1E 级），用于重大设备状态监测的双参数温敏粉体介质材料以及替代贵金属用高性能钨铼热电偶丝等。

7.6　我国齿轮产业的主要任务

7.6.1　机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”期间的主要任务

1．加强自主创新，推动产业技术进步

（1）健全技术创新体系　继续推进以企业为主体，产学研用相结合的产业新体系建设。鼓励“三基”㊀企业与科研院所、高等院校、主机制造企业联合建立研发机构、产业技术联盟等技术创新组织，重点支持国家创新型企业试点、国家技术创新示范企业、国家认定的企业技术中心等创新能力建设和国家重点实验室、国家工程实验室、国家工程研究中心、国家工程技术研究中心等公共研发平台建设。支持行业生产力促进中心等社会化、专业性科技服务机构为“三基”企业服务，促进其健康发展。

（2）开发一批标志性“三基”产品　本着“有所为、有所不为”的原则，围绕重大装备和高端装备发展急需，集中优势资源，通过开发 20 种标志性机械基础件、15 项标志性基础制造工艺和 12 种标志性基础材料，掌握一批“三基”产业发展的核心技术，形成批量生产能力，提高对重大装备和高端装备的配套能力，进而带动“三基”产业的配套和保障能力的全面提升。

（3）完善人才培养机制　加快建立多层次的适合“三基”产业发展的人才培

㊀ 三基是指机械基础件、基础制造工艺、基础材料。

养体系，培养一批具有国际视野的专家和技术带头人，引进、培养和造就一批优秀的从事“三基”研发和创新的团队。建立企校联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型、复合型和技能型人才的培养。重视发展职业教育，支持行业职业技术培训中心的建设，开展技能等级评定和职业技能大赛，大力培养专业技能人才。

2．优化产业结构，促进企业协同发展

（1）推进组织结构调整　通过政策引导，推动企业跨地区、跨所有制的兼并、重组，整合优势资源，提高产业集中度，形成若干家高起点、具有国际竞争力、产值超过 100 亿元的大型企业集团。鼓励“三基”企业向专业化分工、细分市场、特色明显的方向发展，重点培育 100 家掌握核心技术、专业化水平高、具有知名品牌的“专、精、特”企业。发挥龙头企业的带动、辐射作用，形成大型企业集团与中小企业优势互补、协调发展的产业格局。

（2）推进产品结构调整　推动通用型“三基”产品的更新换代，增加产品品种，改善和提高产品的性能和质量。鼓励“三基”企业发展高附加值、高技术含量的产品和工艺，不断提高高端产品的比重，增强为重大装备和高端装备配套能力。

（3）优化特色产业集聚区　加大对已有轴承、齿轮、液压件、气动件、密封件、链与链轮、紧固件、弹簧、模具、基础材料等产业集聚区的支持和指导，引导企业向产业园区集聚。结合“新型工业化示范基地”建设，发展一批专业特色鲜明、品牌形象突出、服务平台完备、热加工相对集中的现代产业集聚区。培育 30 家专业化分工、产业链协同的特色产业集聚区，形成布局合理、协调发展的产业格局。

3．建设研发和服务平台，增强持续发展能力

（1）建设一批公共研发中心　发挥转制院所等已有平台为行业的服务功能，充实健全“三基”行业公共研究机构。充分利用现有优势资源，组建轴承、齿轮、液压件、气动件、密封件、紧固件及铸造技术、表面处理技术等公共研发中心，为行业提供关键技术、共性技术的研发支持，并实现成果共享。

（2）建设一批检测实验公共服务平台　依托现有检测实验资源，以公正开放、独立运作为保障，形成一批布局合理的第三方检测实验公共服务平台，开展产品强化实验、可靠性和寿命测试试验、产品质量检测检验、基础材料检验，形成专业化的检测 / 试验和服务能力。优先支持在产业集聚区建立检测实验公共服务平台。

（3）建设产需对接平台　深化配套企业与主机企业的战略合作关系，依托行业协会，建设若干跨行业、跨地区的产需对接平台，促使“三基”企业与主机企业形成有效的供应链，提升“三基”产业发展的效率与效益。

（4）提升金融服务水平　在“三基”产业集聚区，鼓励金融要素市场、金融机构在商业可持续和风险可控的情况下，围绕“三基”企业的发展，充分利用现有政策，拓宽企业融资渠道，健全信用担保体系，开发贸易融资、应收账款融资等金融产品，创新服务模式。鼓励优势企业上市融资。

4．加大技术改造，转变产业发展方式

（1）推广 50 项先进绿色制造工艺　选择目前技术成熟、覆盖面广、应用效果显著的 50 项先进绿色制造工艺，结合企业技术改造工作，加快先进工艺与装备在生产过程中的应用示范和推广，实现节能、降耗、减排，提高产品质量和生产率。

（2）支持企业技术改造　重点支持“三基”企业技术改造，优先加强科研和检测实验能力建设，提高工艺、技术和装备水平；鼓励企业进行节能降耗和资源综合利用改造；引导企业利用数字化控制技术和先进适用技术改造传统制造工艺和装备。

（3）建设区域基础制造工艺中心　在装备制造业发达的城市和产业集聚区，盘活和整合优势资源，形成 20 家技术水平高、服务能力强的铸造、锻造、热处理及表面处理等基础制造工艺中心，提高环境综合治理能力，降低污染物排放水平。

5．加强行业管理，提升产业整体素质

（1）提升经营管理水平　支持大型企业集团和行业龙头企业创新体制机制，完善法人治理结构，建立与市场经济相适应的现代企业制度，提高经营管理能力。引导中小型企业加强管理基础，健全管理制度，广泛运用先进管理方法和手段，提高产品质量一致性。

（2）完善标准体系　结合研究开发和试验验证，加大国家标准和行业标准制订及修订力度，鼓励以企业为主体研究制订我国自主知识产权的标准，并将有代表性的标准推向国际，加快国外先进标准向国内转化。发挥标准化手段对规范市场的基础性作用，加强标准宣贯，建立健全合格评定程序，促进新产品、新材料、新工艺的推广应用。加强产需企业间的沟通交流，实现上下游产品的标准对接，保证标准要求的协调性和一致性。

（3）提升产品质量　贯彻落实“工业产品品牌和质量振兴战略”，加强质量保障体系建设，强化产品质量认证制度，充实质量管理、可靠性工程的专业人才队伍，推进标准、认证、计量、检测检验、质量控制技术、质量工程技术等在企业质量控制与质量管理中的应用，着力提升产品的质量、可靠性和寿命。

（4）培育知名品牌　引导“三基”企业开展知名品牌培育活动，鼓励企业加强知名品牌产品和优质产品的推广营销，提高知名品牌产品的市场价值。同时，利用标准、认证、检测等手段，促进知名品牌产品质量水平的提高，加大打击制造假冒品牌产品的力度。

6．推进“两化融合”，提高信息化水平

（1）提高企业信息化水平　继续推进企业在产品设计、生产过程、物流管理、销售与服务管理、财务管理等环节的信息化。开发和推广适合“三基”中小企业的产品设计软件及管理软件。鼓励在“三基”企业和主机用户之间建立持续改进、及时响应的客户关系和供应链管理系统，实现产业链上下游信息共享和业务协作。培育一批两化融合示范企业。

（2）大力发展数字化、集成化的基础件　落实《智能制造装备发展规划》和《“数控一代”装备创新工程行动计划》，大力推进数字化控制技术与齿轮、轴承、液压件、气动件、密封件等机械基础件的相互融合，发展新一代具有智能化和集成化特征的机械基础件。

7．实施“机械基础件和基础制造工艺双提升工程”

围绕提高机械基础件性能、可靠性和寿命，开展现代设计技术、先进制造技术、材料优化与新材料应用技术、快速强化试验技术等产品关键技术研究，重点开发一批标志性机械基础件，加强应用示范并实现产业化，全面提升对重大装备和高端装备的配套保障能力。

针对加工对象的大型化和精密化的发展趋势，以及生产过程绿色化的要求，开发一批标志性基础制造工艺，推广应用绿色制造工艺技术和先进制造装备；加强工艺管理，严格工艺纪律，建立总工艺师责任制，实现制造工艺水平和工艺管理水平的大幅度提升。

7.6.2 齿轮行业“十二五”期间要实施的六大工程

1. 产品突破工程

围绕国务院颁发的九大产业重点项目和十大领域重点工程，针对制约主机、

行业发展的瓶颈，抓好重点产品及其关键技术的突破。①满足节能环保及新能源汽车动力总成需要的自动变速器（AMT、DCT、EMCVT、HNCVT、6～8AT）及其关键零部件（行星排、金属带、锥轮锥盘、变矩器）实现产业化，打造电控软硬件单元（TCU）及其核心元器件（电磁阀、传感器、电动机、执行机构）完整产业链。②抗疲劳制造、长寿命关键基础构件课题研究及其产品应用（无应力集中制造与装配、结构减重、表面改性和润滑防护）。

重点产品有：大功率风电齿轮箱，火电立磨减速机，核电循环水泵齿轮箱，大功率采煤、掘进机齿轮传动装置，污水处理装置用高速齿轮箱，船用高速齿轮箱，高速列车齿轮传动装置，大型自走式收获机械、大型拖拉机驱动桥箱总成，宽板轧机齿轮箱及大型矿用自卸车、大型露天矿挖掘机用液力变矩器。

实现产品突破的措施为：构建产业共性技术战略创新联盟，把企业资源、国家资源引导到行业关键共性技术创新上来，形成共同申报、多方签约、联合验收的新型创新机制，打造灵活、实用、长效、开放和共赢的行业创新体系。

2. 产业结构调整工程

培育大集团、小巨人和产业集聚区。扶持江苏汽车、农用机械、工业和工程机械齿轮，重庆汽摩、风电、船舶和轨道交通齿轮等产业集群，支持陕西西安、江苏南京、辽宁大连、浙江、天津等建成特大型、大型齿轮传动装置及齿轮、同步器和行星传动等专业化规模化高水平零部件制造基地（即大型企业集团与专精特中小企业有机联系、优势互补的制造基地和现代产业体系）。

措施为：利用各级政府政策，支持优势企业兼并重组，打造具有国际竞争力的大型企业集团；按产品链、工艺链培育产业链条，提高整个行业的运行效率；打造现代、有技术内涵的产业集聚区，使其具备现代制造服务功能，为本地区乃至全行业提供研发支持。

3. 平台建设工程

建设行业共性基础技术研发中心。向全行业提供产品研发、工程化样机制造、产品检测和试验等服务。

措施为：充分发挥行业归口科研院所、相关高校和企业的技术优势、人才优势，运用市场化手段和国家政策支持，增强行业归口研究机构的技术服务能力。

4. 标准化工程

产品标准的竞争是最高层次的竞争，实施标准化工程是占领产业价值链高端的重要手段。一是宣传贯彻以人为本的先进管理标准，如涉及员工职业健康、安

全、环保的标准；二是制订及修订制约行业发展的关键产品、核心技术的标准，用标准打破垄断，规范市场并引领行业发展。

措施为：发挥好骨干企业在行业标准制订及修订中的主体作用，积极推进国内外技术交流，鼓励企业参加国际标准化组织活动，加强与国际标准化组织的合作，努力争取国际标准制订的话语权，力争实现国际标准制订及修订零的突破。

5. 技术改造工程

结合行业特点发展产业低碳经济，支持围绕提高产品质量、提高效率、有利于节能减排的技术改造。其主要集中在节能环保干切技术和装备，高速、高精滚齿、剃齿和强力珩齿技术，轮齿表面改性技术，在线检测和无损检测技术，全新产品开发试验技术，动态工序监控智能化、网络化热处理技术和真空洁净热处理技术，产品轻量化工艺与装备成套技术，少无切削精净成形加工技术。

措施为：用好国家政策和企业自身资源，抓好成套性、系统性和示范性，以点带面逐步推广。

6. 质量提升工程

经过多年的质量教育和激烈的市场竞争，行业绝大多数企业都具备了“质量是企业生命，质量是员工饭碗”的质量意识。近年来行业产品整体质量水平有所提高，部分企业部分产品已达到国际先进水平。但总体来看，在产品寿命、稳定性、可靠性、一致性和总成产品噪声、密封性、初期故障率和首次平均故障工作时间（里程）等方面与国外同类产品相比还存在较大差距，形势不容乐观。我们要站在时代前进的历史新高点认识提高产品质量的紧迫性和重要性。真正有价值、有影响力的知名品牌是靠质量来塑造的，质量是品牌的核心价值。只有做好质量，才能做大市场份额，产品在市场中的保有量大了，才有成就品牌的市场基础。因此，在“十二五”期间，全面提升行业产品质量，对增强行业与企业国际国内市场竞争能力、扩大市场占有率、转变经济增长方式和实现产业升级等都具有极其重要的现实意义和深远的历史意义。行业优秀的企业家们要有立民族之志创世界名牌的气魄、胸怀和时代责任感，带领员工持之以恒地实施培育世界品牌的长远战略。再用 5 ～ 10 年的不懈努力，产品市场占有率高、市场声誉好的优秀企业中就一定能诞生世界知名品牌。

为此，全行业应着力在以下几方面狠下工夫：一是继续深入开展以用户需求为关注焦点的全面、全员、全过程质量管理宣传和教育培训，广泛开展 Q C 小组活动，靠规范员工质量行为、提高员工操作技能和充分发挥员工主观能动性来稳

定提高产品质量；二是围绕产品质量问题，有针对性地进行技术改造和人才培养，靠技术进步、技术攻关和全方位创新提高产品质量；三是建立健全质量管理体系，结合企业实际，大力推广“卓越绩效模式”“精益生产管理”“六西格玛管理”等国际先进管理技术和方法，用现代质量管理思想和工具提高产品质量；四是树立质量制胜理念，树立全员品牌意识，树立全球竞争意识，建设有特色的企业质量文化。

措施为：①营造质量强国、品牌兴业的行业文化氛围，引导企业以品牌、标准、服务和效益为重点，鼓励为用户创造长远价值的质量竞争与价值竞争。②大力推动和支持行业质量共性技术攻关，为开发产品品种和提升质量提供科技支撑。③探索并建立以强化企业社会责任、依法经营、诚实守信、市场准入为中心的行业协商机制和自律体系。④开展多层次行业质量培训，健全企业质量管理体系，提升员工素质和企业质量管理水平。⑤鼓励骨干企业制订先进的技术质量标准，用标准规范市场，用标准提升产品质量，用标准引领行业发展。

第 8 章

我国齿轮产业的重点发展领域

8.1 齿轮产品的应用领域

我国的齿轮产品门类齐全，广泛应用于航空、船舶、兵器装备、汽摩农机、机床工具、工程机械、轨道交通、水泥建筑、起重运输、矿山冶金、电力能源、石油化工和仪器仪表等 20 多个领域。齿轮产业不仅是我国装备制造业的基础性产业，也是国民经济建设各领域的重要基础。齿轮行业因其产业关联度高、吸纳就业力强和技术资金密集，成为各类主机行业产业升级、技术进步的重要保障，是我国发展战略性新兴产业的重要支撑，是我国从制造大国向制造强国转变的标志性产业之一。

“十一五”期间，我国齿轮产业在汽车、风电、高铁、工程机械等产业快速发展的拉动下得到了迅速发展。经过近 30 年的发展，我国齿轮行业已进入快速发展时期，日益增长的国内外市场需求带动了整个齿轮行业的迅速发展，使行业生产总规模和产销额以每年 100 亿元以上的增长速度快速增长。根据中国机械通用零部件工业协会的统计数据，2011 年我国齿轮产品的总体销售额达到了 1 780 亿元，齿轮行业已成为我国机械基础件中规模最大的行业，我国现在已成为世界齿轮传动零部件生产大国。目前，我国齿轮产品正从中低端向高端转变，部分产品已达到国际先进水平。但总体而言，我国齿轮产品还难以满足重点工程装备的配套要求，汽车自动变速器、高铁驱动单元等高端产品大量依赖进口。

“十二五”期间，我国将继续采取刺激消费、调整结构、拉动内需和鼓励自主创新与产业升级等一系列强有力政策，深化十大产业调整与振兴规划，这为齿轮行业带来广阔的市场发展空间。根据近年来市场需求和未来 20 年的发展趋势，我国齿轮产业未来市场需求的七大重点发展领域是：车辆与工程机械、能源装备、船舶及海洋工程装备、轨道交通装备、航空航天及武器装备、冶金矿山及建材设备、仪器仪表及机器人。

8.2 车辆与工程机械

8.2.1 车辆齿轮

1. 市场需求

随着我国经济发展及城市化率的提高，轿车进入普通家庭，特别是小排量紧凑型乘用车将进入快速增长期。公共交通的发展，机场摆渡、环卫清洁、除雪清障、

港口运输、消防救护及特种运输等专门用途的车辆都将进入快速增长期。2011 年，我国实现汽车产销 1 841.89 万辆和 1 850.51 万辆。“十二五”期间我国汽车市场将步入成熟期，乘用车、商用车、专用车及重、中、轻、微型车辆结构将趋于合理，预计汽车产业将以 10% ～ 15% 的增速健康发展，到“十二五”末，我国汽车年产销量将双双突破 3 000 万辆。

“十一五”是我国变速器产业大变革时期，国内手动变速器达到或接近国际先进水平。随着陕西法士特、上海汽车齿轮总厂的快速发展，产业集中度快速提高。与传统的手动变速器相比，汽车自动变速器在节能、可操控和驾驶舒适性等方面有显著优势。因此，自动变速器在汽车工业发达国家和地区的市场占有率越来越高。当前，自动变速器在美国汽车市场上的占有率接近 90%。可以预见，带有自动功能变速器的汽车是未来市场的主导产品，发展和掌握自动变速器制造技术是追赶世界变速器制造潮流的方向。而优先开发手动自动一体变速器具有技术上的延续性，对我国来说具有更大的优势。2010 年我国汽车自动变速器市场规模已达到 600 亿元。据预测，“十二五”期间我国的汽车工业仍将快速发展，到 2015 年汽车自动变速器将超过 1 000 亿元 / 年的规模。快速发展的汽车工业为我国汽车齿轮行业自主品牌的发展创造了千载难逢的机遇。2011 年 7 月，工业和信息化部装备工业司公布《中国机械通用零部件行业“十二五”发展规划》，对齿轮产业做出了明确规划：未来 5 年内，齿轮市场的分布情况是：汽车齿轮约占 40%，其他车辆齿轮约占 25%，工业齿轮占 35%；其中出口约占 15%。未来 5 年内，我国的汽车产业将以每年 10% ～ 15% 的速度增长，汽车制动传动装置的年均增长速度保持在 25%，至 2015 年，年度需求将超过 100 亿元。除此之外，高精度、低噪声、长寿命、大中型弧齿锥齿轮在大中型高档豪华客车和城市轨道交通领域的市场前景广阔，“十二五”期间市场需求约为 15 亿元。

2. 存在问题

近年来我国的汽车齿轮制造行业发展突出，主要大型国家合资企业和少数私营合资企业的齿轮制造技术水平和现代化管理水平通过技术引进已接近西方发达国家水平。但是总观我国汽车齿轮制造业的绝大多数企业，要实现“从齿轮制造大国到齿轮制造强国”的目标，不论是在企业的现代化管理的实际水平上还是在齿轮的制造水平上还存在相当大的差距。

随着轿车档次的提高，我国对自动变速器的需求量逐年增大，但国内缺少自主研发的自动变速器，只能大量依靠进口，自动变速器技术受制于人，产品贸易逆差较大且呈逐渐增高之势。我国自动变速器总成技术发展存在三个瓶颈：一是

缺乏可靠性、抗疲劳制造技术；二是共性基础技术分散、缺失；三是自动变速器总成机电融合的配套产业链没有形成。在基础研究方面，缺乏实测乘用车、城市客车、载货汽车三大类典型车辆的中国路况载荷谱。研究确定这三类车辆的载荷谱，作为自动变速器设计的最基本共用数据库，指导自动变速器可靠性试验。在驱动桥技术方面，国外先进水平的车桥保修期为 100 万～ 150 万 km，而国内重载驱动桥的保修期为 10 万 km。另外，国内重型车桥精度低、噪声大，影响重型载货汽车的使用性能，与国际先进水平存在较大差距。 此外，新能源汽车变速器、电动轮传动装置等技术需不断提高。

3. 发展方向

随着全球能源及原材料价格的不断上涨，汽车销售价格的下降，要求汽车变速器向着体积小、重量轻、承载能力大、结构紧凑的方向发展。这就要求零件的设计结构、力学性能也要相应有所改变，向着结构紧凑、高强度、高刚性、长寿命等方向发展，我国自主知识产权的自动变速器产业化将得到较快发展。

我国商用车驱动桥制造业围绕提高精度、延长使用寿命、降低制造成本，大力展开科技创新，创立具有自主知识产权的设计制造技术，已成为行业发展的必然趋势。

8.2.2 工程机械齿轮

1. 市场需求

我国工程机械行业“十二五”发展规划指出，按照调整结构、转变增长方式的发展思路，预测到 2015 年我国工程机械行业的销售规模将达到 9 000 亿元左右，年平均增长率约为 17%，我国工程机械行业的销售收入和出口额均比 2010 年翻一番以上。“十二五”期间，我国基础设施建设继续保持一定的投资力度，从而直接拉动挖掘机、装载机、推土机、起重机等工程机械产品的需求。工程机械需求旺盛，到 2015 年，我国对工程机械的市场需求将达到 8 370 亿～ 8 510 亿元，工程机械社会保有量将达约 600 万台。

2. 存在问题

过去十年间市场需求旺盛，企业将重心放在主机产能的快速扩张以满足市场需求，但关键零部件和基础工艺的发展长期滞后，核心零部件长期受制、依赖于国外，已成为制约我国工程机械具备国际竞争力的瓶颈。一方面，工程机械行业的齿轮生产企业规模普遍较小且分散，缺乏话语权，必须依托大的主机厂产品，且水平与国外差距较大；国内几家外资企业的产品水平虽然较高，但其所

占市场份额较小，绝大部分国内企业的产品水平与国外先进水平差距较大，可靠性差，寿命短。另一方面，高端产品能力不足，高端齿轮传动装置（包括行星传动）大量依赖进口，且进出口逆差逐年加大。与国外先进水平相比，我国的齿轮传动件的研发周期是国外同类产品的 2 ～ 3 倍，使用寿命是国外同类产品的 30% ～ 50%，形势相当严峻。

3. 发展方向

随着“十二五”期间行业竞争的加剧，核心零部件的研制工作将有望被提升到新的高度，并形成政府主导、行业协会牵头、龙头企业联合突破的局面，从而实现质的飞跃。工程机械齿轮企业应加强产品可靠性的共性技术研究，通过轻量化设计技术、可靠性与安全性评价技术的应用研究，使主要产品平均无故障间隔时间（MTBF）由 400h 提高到 600h。加快信息化、网络化发展，加快自主创新步伐，利用国家对装备制造业的大力支持，企业应与高校及科研机构加强合作，将技术逐渐转化为生产力，通过国家资金支持，加快推出具有自主知识产权的产品，特别是研发出自主知识产权的动力换档变速器等来提升传动零部件的可靠性和水平档次，加强与国外企业的合作，引进国外先进的设计和制造技术，加大出口步伐，充分利用我国日益成为世界制造基地的契机，把握机会，提升企业的产品质量，赶超世界先进水平。

8.3 能源装备

2008 年爆发的国际金融危机使世界经济面临严峻挑战，能源装备制造业面临非常激烈的市场竞争。当前，能源结构调整和能源行业的建设高潮为能源装备制造业提供了难得的历史机遇。但目前在大型风电增速齿轮箱、光伏发电传动装置、百万千瓦级核电齿轮箱、超超临界发电机组齿轮调速装置、水电传动装置、煤气化传动装置等方面还难以完全满足大型能源装置的设计制造技术要求。大型能源装备传动装置均具有如下特点：①高可靠性、长寿命；②大功率、高功率密度；③服役环境恶劣、工况复杂；④机电液复合传动或行星分流传动。其发展趋势是：①单机功率越来越大；②高功率密度、高可靠性；③多行星轮均载传动；④润滑、冷却、密封可靠。

8.3.1 火电及水电

1. 火电

根据我国在相当长时期内仍需以煤电为主来满足国民经济发展对日益增长的

电力需求的国情，在大规模建设燃煤火力发电站的同时，积极推广使用超临界和超超临界的火电设备，推广应用高效、经济、清洁、可靠并具有较好调节性能的齿轮调速传动装置具有显著的节能减排意义，符合国家“十二五”结构调整、节能低碳行动实施方案。然而，目前我国在燃煤发电站中超临界特别是超超临界火电机组的技术水平，与国外先进水平相比差距很大，特别是用于锅炉给水泵调速的大型机电液齿轮调速传动装置完全依靠进口，国产化方面尚属空白。由于超临界、超超临界机组用大型齿轮调速传动装置是集机、电、液于一体的新型传动装置，其系统及结构都较复杂。因此，对机械传动中的高速重载齿轮、液体传动中的液力元件（泵轮、涡轮及涡轮套等）、复杂的箱体结构等在设计和制造上都提出了非常高的要求。所以其设计、制造、工艺技术均是复杂的综合技术的应用。由于国外对我国进行严格的技术封锁，国内缺乏系统的研究和设计、制造及试验技术，目前仅有少数企业在小型产品方面进行仿制，大型齿轮调速装置仍依赖进口，尤其是超临界和超超临界机组所采用的齿轮调速传动装置仍需全部进口，导致设备成本高，采购周期长，维修和更换零部件困难，且经常面临断货的情况，这已经成为制约我国大型火电站机组发展的瓶颈。

2. 水电

水电作为清洁能源，可再生、无污染、运行费用低，便于电力调峰，有利于提高资源利用率和经济社会的综合效益。国家“十二五”规划提出“十二五在保护生态的前提下积极发展水电”，预计“十二五”期间，我国将新增水电装机容量 8 000 万 kW，至 2020 年，我国水电装机容量将达 4 亿 kW 左右，除西藏外大部分地区水电资源将开发完毕。随着国民经济的发展及全球能源紧张的凸显，我国的水电业已迎来发展的黄金时机，我国水电设备制造业走出了一条“以技术换市场”的创新之路，跨越了与国外先进技术 30 年的差距，实现了发电机组国产化和自主创新。目前，我国在水电规划设计、施工、运行管理、主要机电设备制造等方面已形成较为完备的产业技术体系，形成了具有我国特色的水力发电成套技术，创造了世界水电工程史上的多项第一，包括超高坝筑坝、高水头大流量泄洪消能、超大型地下洞室群开挖与支护、高边坡综合治理以及大容量机组制造安装、大型抽水蓄能电站建设等水力发电成套技术。此外，我国不仅是世界上水电装机规模最大的国家，也是在建规模最大、发展速度最快的国家，已逐步成为世界水电技术创新的中心，水电科技水平已跻身国际先进行列，并且在高坝工程技术领域处于国际领先地位。

8.3.2 风电

根据最新发布的《中国风电发展路线图 2050》设定的发展目标，到 2020 年、2030 年和 2050 年，我国风电装机容量将分别达到 2 亿 kW、4 亿 kW 和 10 亿 kW，风电将成为我国的五大电源之一。国内市场对兆瓦级风力发电机组需求十分迫切。2020 年之前，我国每年至少装机约 190 万 kW，机组将从 2MW 提升到 3.6MW 及 5MW 水平，风电齿轮箱产值约 120 亿元。近海风电场建设已列入国家可再生能源规划，预计到 2015 年，我国海上风电将达到 500 万 kW。由此推算，2020 年之前，新增装机带来的风电齿轮箱产值将接近千亿元。

风电齿轮箱是一种受无规律变向载荷的风力作用及强阵风冲击的变载荷条件下工作的增速齿轮传动装置，是风力发电机组的传动轴系中一个最重要而又最脆弱的部件，其设计制造技术复杂、可靠性要求高。因此，实际设计时不能把齿轮箱作为一个孤立的个体，而是作为整个系统的一个组成部分来考虑，既要确保齿轮箱的主要零部件具有足够的强度，能承受风力发电机组各种工况下的动、静载荷，又要考虑整个传动装置在起动、运行、空转、停机、制动和紧急制动等各种工况下的运行可靠性。还要考虑前风轮和后电机突变载荷冲击、传动链动态设计和载荷分配、高功率密度、大速比增速传动、冷却润滑、长寿命要求等。目前，因风电齿轮箱的设计还只能通过估算和模拟的载荷谱与极限载荷分布等来进行，这就给风电齿轮箱的设计增添了许多不确定因素。所以说，风电齿轮箱是风电机组中对技术和制造装备要求最高的核心部件，也是容易出现故障和问题的部件。

随着机组的大型化，风电齿轮箱也向着大型化、高可靠性方向发展。目前，我国 3MW 及以下齿轮箱已国产化并能满足市场需求，但大型机组齿轮箱的国产化仍是未来几年我国齿轮行业努力的方向，特别是在功率分流方式、均载形式、轮齿精密修形等方面应加大研发和自主创新的步伐。同时，还要从建立简化的传动系统模型入手，模拟实际工况，分析载荷与各组成件的刚度关系。运用有限元、动力学等工具计算系统的动态特性，并分析各级模态振型和频率，从而改进传动链布置。采取有效措施减少齿轮传动误差，减少啮合力，优化齿形参数等，使我国的风电装备具备国际竞争力，技术创新能力达到国际先进水平。

8.3.3 核电

核电作为一种低碳能源正得到越来越多的国家的青睐，已有 60 多个国家在考虑或者已经启动修建核电站的计划。当前全世界核电年发电量占世界发电总量

的 17% 左右。根据我国核电中长期规划，到 2015 年，掌握先进核电技术，提高成套装备制造能力，实现核电发展自主化；核电运行装机达到 4 000 万 kW，包括三代在内的核电装备制造能力稳定在 1 000 万 kW 以上。到 2020 年，形成具有国际竞争力的百万千瓦级核电先进技术开发、设计、装备制造的能力。到 2020 年，我国将开工建设 40 座以上百万千瓦级核电机组，届时核电总规模相当于目前的 20 个大亚湾核电站。核电站三回路所需要的循环水泵齿轮箱大约在 400 台（套），每年的配套产值都在 1.5 亿元以上。

由于核电装备属于特高精密性制造领域，在我国已经建成投入运行的核电机组中，同其他关键设备一样，所有齿轮箱机组均无一例外地从发达国家进口，造成核电投资较大，电价较高，严重制约了我国核电的快速发展。为了加大核电设备国产化进程，郑州机械研究所、江苏泰隆减速机股份有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司等企业克服重重困难，采用产学研相结合方式，积极开展国产化研究工作，自主研发的百万千瓦级核电循环泵齿轮传动装置，产品性能达国际先进水平，打破了国外厂商的技术垄断，实现国内核电齿轮箱生产加工零的突破，为我国核电大功率齿轮箱机组替代进口作出了贡献。

郑州机械研究所以百万千瓦级核电站混凝土涡壳循环泵系统为依托，采用高功率密度、双浮动、多行星轮的双斜齿行星齿轮传动及高压顶起滑动轴承设计制造技术，开发出了核电站涡壳水泥循环泵用高可靠性行星齿轮箱，为福建福清和浙江方家山核电站生产的首批设备已发往现场进行安装调试。江苏泰隆减速机股份有限公司采用齿式挡板及均载传递转矩等核心技术，研制出百万千瓦级大功率立式海水循环泵齿轮箱，为辽宁红沿河核电站和福建宁德核电站配套供货。重庆齿轮箱有限责任公司采用立式大功率、多分流、双斜齿行星齿轮结构，承接生产了广东阳江、海南昌江、广西防城港核电站海水循环泵齿轮箱。

8.3.4 光伏发电及生物质能

1. 光伏发电

光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将光能直接转变为电能的一种技术。太阳能电池经过串联后进行封装保护可形成大面积的太阳电池组件，再配合上功率控制器、齿轮传动装置等部件就形成了光伏发电装置。光伏发电的优点是较少受地域限制，因为阳光普照大地。光伏系统还具有安全可靠、无噪声、低污染、无需消耗燃料和架设输电线路即可就地发电供电及建设周期短的优点。据预测，太阳能光伏发电在 21 世纪会占据世界能源消费的重要席位，不但要替代部

分常规能源，而且将成为世界能源供应的主体。到 2015 年太阳能发电达到 2 100 万 kW，太阳能热利用累计集热面积达到 4 亿㎡。预计到 2030 年，可再生能源在总能源结构中将占到 30% 以上，而太阳能光伏发电在世界总电力供应中的占比也将达到 10% 以上；到 2040 年，可再生能源将占总能耗的 50% 以上，太阳能光伏发电将占总电力的 20% 以上；到 21 世纪末，可再生能源在能源结构中将占到 80% 以上，太阳能发电将占到 60% 以上。这些数字足以显示出太阳能光伏产业的发展前景及其在能源领域中的重要战略地位。

近年来，随着光伏产业的快速扩张，我国已成为世界上最大的光伏设备生产国，目前我国光伏电池及组件产能占全球总产能的 80%，但我国光伏发电在全球市场的占有率仅为 0.8%。如此悬殊的数据也折射出我国在光伏发电领域的巨大差距及我国光伏市场的巨大潜力。由于科技水平的制约，我国至今尚无法自主生产太阳能光伏产业的核心器件——高纯度多晶硅，只能依靠进口，而因成本居高不下，90% 的太阳能产品又只能出口国外，即呈现“两头在外”的格局。由于欧债危机引起欧洲国家太阳能市场的萎缩，以及我国国内市场的无序竞争和产能扩容，造成市场需求萎缩，曾经风光无限的中国光伏企业如今却被逼到了崖边死角。

2. 生物质能

生物质能就是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式，即以生物质为载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，可转化为常规的固态、液态和气态燃料，取之不尽、用之不竭，是一种可再生能源。

“十二五”期间，生物质成型燃料节能利用量将达 1 000 万 t，生物质乙醇利用量将达 350 万～ 400 万 t，生物柴油利用量将达 100 万 t，航空生物燃料利用量将达 10 万 t。“十二五”期间，在提高行业技术标准后，全国将形成约 300 个生物质电厂的格局。生物质能产业发展路线图（2020 年）预测：到 2020 年生物质能发电装机达到 3 000 万 kW，生物燃气年利用量达到 500 亿 m^3，固体成型燃料年利用量达到 2 000 万 t，生物液体燃料年利用量达到 1 200 万 t，初步实现新一代生物液体燃料的商业化推广。

8.4 船舶及海洋工程装备

8.4.1 船舶

船用齿轮箱是船舶动力系统的主推进传动装置，具有倒顺、离合、减速和承

受螺旋桨推力的功能，与柴油机配套组成船舶动力系统，广泛应用于各种客货轮船、工程船、渔船、近海和远洋船舶以及游艇、警用艇、军工舰船等，是船舶工业的关键零部件。船用齿轮箱主要包括：工作船用齿轮箱、高速船用齿轮箱、可调桨船舶用齿轮箱、工程船用齿轮箱等。工作船用齿轮箱主要包含中小功率船用齿轮箱和大功率船用齿轮箱，高速船用齿轮箱主要适用于定距桨轻载工况船舶主推进传动，可调桨船舶用齿轮箱主要适用于变距桨重载连续工况的船舶主推进传动，工程船用齿轮箱主要包括离合分动箱、离合减速箱和增速箱等。

舰船广泛采用带有齿轮传动装置的机械动力推进系统，无论是应用在水面舰船（航母、驱逐舰和攻击舰船等）还是攻击潜艇和弹道导弹潜艇，都要求齿轮传动的高可靠性和良好的性能。现代舰船推进系统的发展需要研发同时满足高可靠性、高效率、长寿命、高功率密度、低振动和低噪声等要求的船用齿轮传动装置。舰船传动装置用于发动机与推进轴系之间，是舰船主动力系统中不可缺少的关键设备，一般由齿轮箱、联轴器等传动部件按动力装置不同配置组合而成，是船、机、桨匹配的纽带。船用齿轮传动必须同时满足高可靠性和长寿命，尽可能减小尺寸和重量，降低振动和噪声等苛刻的技术要求。

目前我国的船用齿轮箱工业已形成较大的规模，产品年产量稳居世界第一位，出口量也在逐年增加，技术水平和制造能力已经接近和达到发达国家的水平，主要产品的技术性能和可靠性指标也可与国外同类名牌产品媲美。但是和国外知名企业相比，我国的船用齿轮箱生产企业尚存在如下的差距：一是在产品谱系和技术经济指标方面存在差距；二是国内船用齿轮箱厂商多为单一齿轮箱制造，在上下游产品链上没有延展，这样在齿轮箱的设计和制造标准上没有话语权；三是尚未形成完善的售后服务全球网络。

“十二五”时期，船舶工业将进入由大到强转变的关键阶段。我国经济社会发展和综合国力的进一步提升，对船舶工业全面做强提出了更紧迫的要求，产业发展既面临重要机遇，也面临严峻挑战。到 2015 年，我国船舶工业产业体系将更为完善，产业结构将更趋合理，创新能力和产业综合素质将显著提升，国际造船市场份额将稳居世界前列，成为世界造船强国。因此，船用齿轮箱产业的发展趋势是：①需求量依然高位运作，但价格可能出现下降；②外资加快进入国内船用齿轮箱行业，产业内部竞争加剧；③行业内部兼并重组可能显现。

8.4.2 海洋工程装备

浩瀚的海洋蕴藏着丰富的资源，主要包括海洋矿产资源、海洋可再生能源、

海洋化学资源、海洋生物资源和海洋空间资源五大类。紧密围绕海洋资源开发，大力发展海洋工程装备制造业，对于我国开发利用海洋、提高海洋产业综合竞争力、带动相关产业发展、建设海洋强国、推进国民经济转型升级具有重要的战略意义。

近年来，随着我国经济持续稳定地快速发展和世界经济的复苏，石油的需求量与日俱增，海上石油开采受到包括我国在内的世界许多国家的高度重视。与国外发达国家相比，我国海洋石油的勘探、开采工作起步较晚，技术装备相对落后，数量严重不足。美国、法国等发达国家均有数百个海洋石油钻井平台处于服役期，而我国的海洋石油总公司只有 11 个海洋石油平台。长期以来，我国用于海上石油开采的重大装备一直依赖进口，不但价格昂贵，而且选择余地小。

在国内外海洋勘探和开发中，特别是在近海海洋石油开发中，自升式平台发挥了巨大的作用。作为自升式平台中关键部分的升降系统，其性能的优劣直接影响平台的安全性和使用效果。目前新造的自升式平台多采用齿轮齿条升降方式，这主要是由于齿轮齿条式升降系统具有升降速度快、操作简单、易对井位等优点。海洋石油钻井平台齿轮齿条升降装置市场需求大，其特点是大功率、大跨度、特大模数齿轮齿条传动。

随着各国对大陆架资源的日益重视，海洋工程装备制造业开始步入黄金发展期，特别是海上油气田勘探、开采设备的发展前景十分看好。近年来，我国扶持海工装备产业发展的政策陆续出台，高端装备“十二五”规划也将海工装备列入重点发展领域。2011 年钻井装备平均价格为 3.97 亿美元 / 座，相当于 8.5 艘 18 万 t 散货船。从中国重工的年报来看，2011 年海洋工程产品的毛利率为 20.89%，是盈利水平最高的产品，而船舶制造的毛利率仅为 10.85%。目前多家船舶行业巨头都在积极进行转型扩张，迅速提高海工装备在业务结构中的比例，但高端海工装备与普通船舶的不同之处是，它涉及了非常多的规范和近乎苛刻的要求，生产海工装备的难度远远超过生产普通船舶的难度。

我国海洋工程装备产业发展线路图（2015—2020 年）的发展目标是：初步实现深水海洋工程装备的自主设计建造和关键设备配套能力，基本形成自主的深水资源开发装备体系，提高国内市场占有率，产品具有国际竞争力。全面具备深水海洋工程装备的自主设计建造和关键设备配套能力，形成海洋工程装备产业完整的科研开发、总装制造、设备供应、技术服务产业体系，进一步提高国内市场占有率，提高产品国际竞争力。

8.5 轨道交通装备

1. 市场需求

《“十二五”综合交通运输体系规划》明确提出，到 2015 年我国要基本建成国家快速铁路网，营业里程达到 4 万 km 以上。随着我国铁路行业的快速发展，铁路装备制造行业将迎来快速发展时期。随着我国城市化进程的加快，城市轨道交通的作用也将会越来越明显，越来越多的城市开始修建地铁等轨道交通设施。我国的城市轨道交通发展正在迎来黄金发展期。

我国轨道交通装备产业发展路线图（2015—2020 年）的发展目标是：掌握先进轨道交通核心技术，全面实现轨道交通装备产品自主设计制造，建成产品全寿命周期服务体系，满足我国轨道交通发展需要，主要产品具有国际竞争力。标准体系及认证体系实现国际化，轨道交通装备技术水平处于国际领先地位，形成国际化发展的综合能力，打造拥有总承包商资质、具有全球配置资源能力的大型企业。

“十二五”期间，高速铁路客运专线和城际轨道交通铺轨里程将快速增长，预计年基建投资高达 3 000 亿～ 4 000 亿元，年需求高铁齿轮箱近 8 亿元。

2. 轨道交通齿轮传动装置的特点

高速机车、轻轨客车及地铁机车齿轮驱动单元的特点为：①安装空间小，环境恶劣，结构紧凑；②负荷大，速度高，精度高；③大功率，高速，重载；④轻量化、可靠性要求高等。

作为高速重载齿轮，为了满足牵引的要求，牵引齿轮必须韧性好，强度高，有良好的动态啮合性能、良好的润滑状态和热传导性等，才能保证具有较大的承载能力和较高的可靠性。目前，我国的动车牵引齿轮的平均使用寿命为 200 万～ 300 万 km，部分牵引齿轮的使用寿命可达 500 万 km。国外动车牵引齿轮的使用寿命可达 1 000 万 km。由于设计、制造技术的原因，目前轨道交通、高速机车、轻轨客车及地铁机车齿轮驱动单元大部分仍依赖进口。

3. 存在的问题及应对措施

由于电力机车牵引齿轮传动装置的设计、制造是一项系统工程，加之我国对高速重载牵引齿轮的研究制造起步较晚，因此整体水平与发达国家相比还有较大的差距，特别是齿轮驱动单元的寿命、润滑和可靠性方面差距更大。目前，国际先进机车齿轮箱的设计多采用柔性、紧凑型结构，齿轮则选用优质合金钢并采用渗碳淬火热处理工艺，以满足高速重载的使用要求。除引进机车外，我国现有成熟机车的牵引齿轮大多采用调质、表面淬火等低端热处理工艺制造，所选材料的

综合性能也较差，从而限制了机车高速化、重载化的发展速度。在引进车型方面，虽然我国对齿轮的制造工艺进行了探索和研究，但与国际先进制造工艺技术相比还存在较大差距，致使 90% 以上的机车牵引齿轮箱产品仍需从国外进口，目前我国还没有完整的新型机车牵引齿轮箱产品质量规范和制造工艺。

随着我国铁路行业的不断发展，机车运行将呈现“高速、重载、全天候”的特点，而驱动系统为适应这些特点的需要而向高速、大功率发展成为必然趋势，对牵引齿轮箱的结构、承载能力、润滑系统及抗胶合、振动能力等提出了更高要求。因此，机车齿轮的设计应结合我国机车的现状，从结构设计、参数优化、动力学性能分析三个方面出发进行创新性研究，开发出适合我国现状的联轴器、端齿盘以及传动齿轮。同时，应该在不断解决故障问题的同时积极总结经验，在设计上加以改进，防患于未然。应该加大力度研究新材料、新工艺、新方案，借鉴国外先进经验，在齿轮箱轻量化设计制造、润滑密封、高可靠性等方面重点攻关，立足国内制造，早日改变高速机车、轻轨客车及地铁机车齿轮驱动单元大量依赖进口的局面。

8.6 冶金、矿山及建材设备

1. 特点

冶金行业用齿轮箱主要包括板材轧机主传动齿轮箱、棒材轧机主传动齿轮箱、飞剪高速线材精轧机齿轮箱等。建材行业用齿轮箱包括立式磨机齿轮箱、中心传动磨机减速机、边缘传动磨机减速机、辊压机用行星减速器、搅拌机和选粉机齿轮减速机等。矿山行业用齿轮传动装置主要包括采掘机械、提升机械、粉磨机械、输送机械等装置的减速器。该类齿轮箱是典型的低速重载齿轮产品，技术含量高且具有如下特点：①大转矩、大冲击；②多数为低速重载传动；③长寿命、高可靠性。

2. 存在的问题

冶金行业的齿轮代表产品如热连轧精轧机组齿轮箱，矿山行业的齿轮代表产品如矿井提升机行星减速机，建材行业的齿轮代表产品有开式大齿轮、水泥磨中心驱动减速机、辊压机、立磨减速机等齿轮传动装置，目前仍存在粗大笨、噪声大和寿命短等问题。同时，该类齿轮传动装置具有结构复杂、承受低速重载和冲击、工作环境差等特点。虽然经过多年的引进、消化和吸收发展历程，我国冶金、矿山及建材行业用齿轮传动装置的制造设备有了很大的改善，但是由于受限于我

国的基础工业水平，高性能、高承载能力的齿轮传动装置尚未良好应用于大型轧机、矿山提升机、立磨机等传动装置中。整体水平与世界先进水平相比差距明显，尤其是国产装置设计普遍沿袭传统，相比欧美先进产品，存在结构粗笨，整机工作平稳性较差，可靠性不佳，动力消耗和制造成本较高等问题，难以满足国内国际大型矿山、冶金等高可靠性、长寿命的配套要求。同时，由于我国重硬件、轻软件思维的存在，使得在大型冶金、矿山及建材行业的传动装置的齿轮箱轻量化、振动、噪声、配套加工工艺设计、热处理技术等方面有待进一步深入研究。

3. 发展需求

节能减排是我国较长时期内的一项基本国策，也是“十二五”期间乃至更长时期内冶金、矿山及建材行业面临的一个重大课题。而对于冶金、矿山及建材装备制造业而言，节能减排赋予其巨大的市场机遇，前景十分可观。随着全球经济的发展，除国内市场对大型冶金、矿山及建材装备的需求外，国外新兴经济体以及南亚、西亚、南美和非洲等地区也有巨大需求。

8.7 航空航天及武器装备

1．市场需求

作为一种高效的运输方式，全球及我国的航空运输业发展增长的趋势十分明显。尽管 2008 年爆发的金融危机对全球经济造成了不利影响，但我国航空运输业完成的旅客周转量及货物周转量仍保持稳定增长，民航旅客周转量在整个运输业中的占比持续提升。我国航空业现役各类飞机数量继续保持增长。同时，随着国际经济日渐好转，国际贸易和投资将呈现恢复性增长，航空需求也将呈现恢复性增长。根据空客公司的预测，2009—2028 年期间，全球客运交通量预计每年增速将达 4.7%，货运需求量年增长为 5.2%，而未来 20 年我国市场客运交通量增速为 9.3%，货运交通量增速为 7.6%。因此，未来航空装备制造业发展空间巨大。旺盛的航空运输需求带动了航空装备制造业的发展。根据空客预测，2009—2028 年期间，全球机队（100 座以上客运飞机及货运飞机）将由 2009 年的 15 750 架增加到 2028 年的 32 000 架。预计至 2028 年，全球航空公司将接收 24 951 架飞机，价值 3.1 万亿美元。其中亚太区域需求占到 31%，客机需求最大的国家为美国、中国及英国。货运需求量预计年增长为 5.2%，将产生 3 400 多架货机的需求。

航空齿轮是航空发动机的关键零部件。发动机和飞机的起动系统、燃油系统、液压系统等主要附件都是由发动机转子通过齿轮传动装置带动的。在整个飞行过

程中，齿轮传动都必须可靠地工作，以保证发动机和飞机所有附件的转速、转向和所需功率符合设计要求。航空航天业的快速发展，将进一步扩大对高参数微小型齿轮传动装置的需求；低空的逐渐开放，直升机旋翼传动系统将有广阔的市场前景；新型雷达、坦克回转系统等需要更可靠的齿轮传动产品。航天齿轮产品具有以下特点：①太空的高真空、大温差、微重力环境对齿轮传动装置提出了苛刻的要求；②传动装置小型化、高精度、高可靠性；③微重力、大温差条件下无润滑等。

2．存在问题

目前美国和西欧是世界航空工业体系的两大巨头，大型干线飞机市场被波音公司和空中客车公司垄断，支线飞机市场中则是巴西航空工业公司和加拿大庞巴迪公司处于领先地位。而我国民航业高度依赖外国飞机和相关技术装备，民用飞机及航材进口需求巨大，不仅增加了民航业运营和发展的成本，也严重制约了民航业发展的自主性。

3．发展方向

航空制造业对产业带动作用及航空制造业的巨大市场空间，促使我国重建自主的航空制造业。国务院在《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》中提出，“重点发展以干支线飞机和通用飞机为主的航空装备，做大做强航空产业”。未来我国航空制造产业的发展将建立在整机设计及制造综合能力提升及核心零部件的突破上，随着重点项目及重大专项项目的实施，我国航空制造产业将进入大投入、大发展的时期。

航空装备产业发展路线图（2015—2020 年）的发展目标是：①大型客机实现首飞；② ARJ21 支线飞机批量生产和交付；③新型通用飞机、民用直升机发展和应用实现全面突破。初步形成具有国际水平的航空研发和生产体系，形成国产飞机整机集成和关键部件研制生产能力，航空产业融入世界航空产业链。大型客机研制成功并批量进入市场；新型支线飞机完成研制，支线飞机实现系列化发展，通用航空实现产业化发展。完成大型商用航空发动机研制。航空产品、航空服务形成竞争优势，航空产业国际化发展水平显著提高。

8.8　仪器仪表及机器人

世界上任何一个工业强国都离不开仪器仪表行业的强大发展。随着经济的发展和社会的进步，用户对仪器仪表需求的模式也发生了很大的变化，最主要的变

化是由提供单一产品到提供“产品 + 方法 + 服务”，即整体解决方案。当今，仪器仪表行业具有两个明显的特征，即系统集成、整合，提供行业解决方案。专家指出，国内仪器仪表行业首先要发展制造服务业，实现产品向解决方案的转变。其次充分把握战略性新兴产业的发展机遇，重点提升以无线自主网络技术、MEMS 等新兴传感器的研发和应用水平。大力发展装备自动化，提升装备制造业的整体水平。仪器仪表是提升装备制造业水平的关键，应与装备制造业协同发展。国内仪表企业要紧紧围绕汽车装备、新能源装备、节能环保装备等发展装备自动化。

仪器仪表用小模数齿轮、塑料齿轮，工业机器人用谐波齿轮传动装置、高精度 RV 减速器，微型飞行器用齿轮传动装置、医疗设备中的微小传动装置等，它们具有如下特点：①塑料齿轮质量小、噪声低；②小型化、微型化；③小回差、大传动比。其发展趋势是：①高精度、高可靠性、小回差；②自润滑；③应用高强度材料等。

我国目前已是世界第二大经济体和制造业大国，但自主创新能力薄弱，先进装备贸易逆差严重，高端装备与智能装备严重依赖进口，严重制约我国制造产业健康发展。《智能制造科技发展“十二五”专项规划》指出工业机器人的发展目标是：攻克工业机器人本体、精密减速器、伺服驱动器和电动机、控制器等核心部件的共性技术，自主研发工业机器人工程化产品，实现工业机器人及其核心部件的技术突破和产业化。《仪器仪表行业“十二五“发展规划》中明确要求，到 2015 年，仪器仪表行业总产值达到或接近万亿元，年平均增长率为 15% 左右；出口超过 300 亿美元，其中本国企业的出口额占 50% 以上，到“十二五”末或“十三五”初贸易逆差开始下降；积极培育长三角、重庆以及环渤海三个产业集聚地，形成 3 ～ 5 个超百亿的企业，销售额超过 10 亿元的企业过百。

在国家宏观调控政策的引导下，我国仪器仪表行业近年来得到了前所未有的快速发展，然而核心技术的缺失，高尖端产品仍然依赖国外进口等问题的凸显，使得我国仪器仪表行业面临严峻考验。

第 9 章

提高我国齿轮产业为战略性新兴产业配套服务能力需解决的关键问题

在对齿轮产业如何提高为战略性新兴产业配套服务能力进行分析之前，我们应清楚目前我国齿轮产业的现状以及“十二五”的发展目标。

9.1 我国齿轮产业现状分析

经过近十年的快速发展，我国齿轮产业取得了长足的进步，2010 年齿轮产品的产销规模已达到 1 450 亿元，而且各类齿轮产品都得到全面发展，不少产品已达到或接近国际先进水平，我国已经成为名副其实的世界齿轮制造大国。我国齿轮产品主要由三部分组成：车辆齿轮、工业齿轮及齿轮装备。其中，车辆齿轮的市场份额达到 60%；工业齿轮由工业通用、专用和特种齿轮构成，其市场份额为 38% 左右；齿轮装备占市场份额约为 2%。随着我国齿轮工业日趋成熟，以及齿轮下游行业，如汽车工业的持续发展，“十二五”期间齿轮产业销售额将从 2010 年的 1 450 亿元增加到 2015 年的 2 940 亿元，年均增长率为 15%，到“十二五”末力争世界排名“保二争一”。

在汽车、风电、高铁和基础设施等快速发展的拉动下，我国的齿轮产业呈现出快速发展之势，部分行业骨干企业已初步具备了全新产品开发能力，制造装备不论从质量和数量，还是种类和规格上，都使行业的制造能力和水平得到了大幅度提升。但不容回避的是，目前我国的齿轮产品与国外先进水平相比，差距仍十分明显，特别是高端产品的设计、工艺开发、产品质量、制造装备和检测试验等综合技术水平仅相当于发达国家 20 世纪 90 年代中后期水平。其主要表现在：①中低端产品产能过剩，同质化恶性竞争严重。②高端产品能力严重不足，汽车、工程机械、能源、轨道交通、煤机和大型农机等高端齿轮传动装置大量依赖进口，不但使我国齿轮工业进出口逆差逐年加大，还导致整个通用零部件行业出现进出口逆差。③与国外先进水平相比，我国齿轮产品的研发周期约为国外同类产品的 2 ～ 3 倍，使用寿命却只是国外同类产品的 30% ～ 50%，形势相当严峻。尤其是汽车自动变速器、高速机车驱动单元等产品，在振动噪声与疲劳寿命方面与国际先进水平差距明显。

造成齿轮行业现状的主要原因是我国的齿轮发展存在着以下问题：

（1）过分重视技术改革，轻视自主研发　目前世界上一些主要的齿轮大型

制造企业的利润虽然不高，但研发费用的投入始终保持一定额度，一般占销售收入的 3%，有的甚至超过 5%。这些企业不追逐短期利润，更看重企业的长久持续发展，它们明白只有不断进行产品的创新与研发，才能保持住自己在行业内的竞争优势。反观国内企业，只有少数建立了技术中心，有技术中心的企业也只有少数具备了技术创新能力。大多追求短期效益，希望通过技术改造来实现产品的不断更新，尤其是近年来行业内掀起了一股技改热潮，众多企业纷纷投入巨资，购买先进设备。可以说，许多齿轮制造企业目前的硬件水平已经达到国际先进水平，但是研发费用的投入却远远不够。

（2）过分追求产品实用，轻视基础技术研究　国内齿轮企业通常是根据市场需求来调整生产计划的，哪些型号或品种的齿轮热销，企业就纷纷生产这些产品，产品虽具有一定的实用性和一定的市场，但不论在技术上还是性能上都处于低端，包括对其基础理论的研究都远远不够，导致产品的寿命较短，市场适应能力差，与国外产品的差距进一步加大。

（3）只顾眼前利益，缺乏长远规划　我国的齿轮产品在技术水准和质量上只有很少一部分接近或达到国际先进水平，大部分连国际二流水平都达不到，其中的主要原因之一就是自主设计能力弱，缺乏科学、长远的发展规划。技术创新能力是评价企业未来竞争力的最主要标准之一，如果企业不重视研发，没有长远的战略考虑与超前的技术、产品储备，很难跟上发达国家先进水平的步伐。

目前，国际齿轮产品的发展呈现以下趋势：

1）动力传动齿轮装置在沿着小型化、高速化、标准化方向发展，特殊齿轮的应用，行星齿轮装置的发展，低振动、低噪声齿轮装置的研制已成为齿轮设计的主要特点。

2）由于主机设备向大型化发展，齿轮的工作参数有了较大提高，比如高速齿轮的传递功率已达 50 000kW 以上。

3）由于硬齿面齿轮广泛应用，以及高速、高性能要求的齿轮日益增多，要求磨齿加工，在效率和质量上都有了更高要求。

我国大多数齿轮生产企业基本没有能力紧跟这些趋势，只能重复低水平的产品生产，在低端市场进行着低价竞争。随着汽车工业、机械制造行业不断升级，对配套齿轮的材质、性能、可靠性等方面都会有更高要求，低端齿轮市场份额会越来越少，再加上原材料的价格和供应风险，那些缺乏自主创新能力、不能跟上行业发展趋势的企业，经营风险将日益增大，最终将会被市场所淘汰。

9.2 我国齿轮产业的发展目标及措施

2010 年我国齿轮产业销售额达到 1 450 亿元，居世界第三位，已成为齿轮生产和消费大国，但距成为齿轮制造强国仍有较长的路要走。未来 20 年，我国的齿轮工业要保持快速发展，“解决共性，攻克关键，扭转高端齿轮传动装置及其零部件依赖进口的局面”是当前和今后一段时间要完成的一项重要任务。

9.2.1 发展目标

1）建立国家级的齿轮基础技术和前沿技术研究、重大科技成果工程化、技术推广应用的创新和技术服务平台，突破和掌握可持续发展领域抗疲劳制造等核心关键技术，提升前端研发能力和高端制造能力。具体来说，自主品牌汽车自动变速器实现产业化；重大装备零部件自主化率达到 85%，重大装备关键零部件自主化率达到 70%；行业平均研发投入占销售收入比重提高到 1.2%，新产品产值占工业总产值比重提高到 35%。

2）建立先进完善的齿轮标准化体系，占领产业价值链的高端位置。具体目标为要力争实现 2020 年齿轮标准化进入世界前五强，2030 年齿轮标准化进入世界前两强。

3）优化产业结构，提升行业整体竞争力。实现齿轮制造企业由集约化管理向信息化精益制造的转变，齿轮产品沿着高功率密度化、高速化、标准化方向发展；通过行业内部竞争与整合，提高产业集中度，培育 3 ～ 5 个内资主导的、国际化程度较高的、具有国际竞争力的跨国企业集团和世界知名品牌；通过企业重组、技术改造，构建 5 个年销售规模超过 50 亿元的齿轮制造基地，打造 2 个年销售规模超过 200 亿元的产业集群；形成 20 个参与国际分工的“专、精、特”专业化零部件制造企业；产业集中度提高 10%。

4）转变增长方式，提升产品质量。年均提高齿轮材料利用率 2% 以上；齿轮产品功率密度年均提高 4% 左右；实现齿轮传动功率损耗稳步减小；重大装备齿轮传动装置质量水平满足主机要求，行业骨干企业质量水平达到同类产品国际先进水平；现代服务业销售额占比提高 15%。

5）扩大产业规模，保持市场份额稳定增长。实现齿轮销售总值年均增长率为 15% 左右；国内市场占有率提高到 85%；2015 年全行业销售规模达到 2 940 亿元，出口额达到 300 亿元左右。

9.2.2 发展措施

1. 优化产业结构，加强行业管理

国际齿轮产品的知名公司已经陆续在我国设立了独资公司、合资企业、产

品销售公司或国际采购公司，我国的齿轮市场已经逐步国际化。我国的企业要生存、发展，就必须加速企业结构调整；加强与跨国集团开展多种形式的合资合作；更多地利用全球科技资源，引进国外先进技术、先进经验；积极参与和组织国际合作项目，在更大范围、更广领域、更高层次开展国际合作，以适应全球经济的大市场。

应充分发挥行业组织的桥梁、纽带作用，积极组织企业间的交流活动，加强为企业提供新产品开发、工艺技术创新、科学管理等咨询服务。其具体措施有：定期组织国际性学术交流及产品展览会，促进国际性的学术交流和商贸洽谈；进行行业间的技术协作，组织专家为企业服务，帮助解决齿轮加工中的技术问题；帮助企业加速技改，使关键工序加工实现数控化，保证齿轮批量产品合格率，提高生产线的柔性化和信息化管理水平；帮助企业加速信息化进程，推进办公自动化，推广 4CPE（CAE/CAD/CAPP/CAM、PDM、ERP）的应用，提高管理水平和企业效益。

2. 促进企业改制，建立现代企业制度

改革是推动企业进步的动力，加强企业的改革与改制、调整企业内部结构是建立现代企业制度的关键。其具体措施有：对企业进行股份制改造，推进股权多元化；构造国有资本的营运体制，政府不再直接干预企业生产、经营活动；建立企业经营者选拔、任用和激励约束机制；转变企业内部经营机制，建立完善的按劳分配制度。

3. 建立企业创新机制，为企业发展提供不竭动力

维持企业长盛不衰的核心是企业创新机制的建立，创新能力是评价企业竞争力的最主要标准之一。其具体措施有：建立吸纳培养优秀人才的人事制度、工资制度、知识产权参股或参与分配的制度；技术人员参与市场的销售与售后服务，以便根据市场需要快速反应，创新产品；管理创新与工艺创新的动力来自市场竞争，经营管理人员、工程技术人员、高素质的技术工人的密切结合，是企业提高素质的关键；坚持对企业员工进行继续教育培训，不断提高员工的综合素质，是企业创新的知识源泉。

4. 加大研发投入，加强资金与政策的引导

加大对产业技术创新和技术改造的投入力度，对一些高端产品或零部件制造技术与产业化中存在的共同问题，支持产学研合作，联合攻克一批产业共性关键技术，重点支持基础技术、基础制造工艺和基础材料的技术研发，先进工艺推广应用，新产品的试点示范，研发、检测、培训等行业服务平台建设等。

研究设立“基础制造工艺技术创新专项资金”，重点支持工艺技术研发与推广；传统工艺绿色化改造；工艺创新体系建设；高水平、专业化的区域工艺中心建设。针对企业进行的产品工艺技术改造、特种材料的研发与产业化等出台相应的税收优惠政策。

要实现上述目标，提高齿轮工业为战略性新兴产业配套服务的能力，我们应解决好技术体系的完善、产品体系的构建及创新平台建设三大关键问题。

9.3 我国齿轮技术体系的完善

9.3.1 基础技术

齿轮基础技术包括齿轮基础理论、基础数据积累、产品测试服务平台和标准规范制定等方面，是齿轮产品研发和创新的基础。我国 20 世纪 60 ～ 80 年代在齿轮基础技术研究方面取得了长足的进步，但目前基础试验研究等工作几乎停止。

19 世纪末期，人们开始研究齿轮的齿形；20 世纪初，摆线齿轮和渐开线齿轮相继出现。摆线齿轮由于制造和安装较困难，使其发展受到了限制，目前一般只在钟表等领域应用；渐开线齿形的齿轮具有加工方便、中心距可分等优点，自提出以来一直处于主导地位；齿轮传动主要靠轮齿的啮合，由于渐开线外齿轮啮合传动是凸对凸，接触应力较大，使其承载能力受到限制，针对上述缺点有学者提出了双圆弧齿轮，它是凸凹面接触，降低了接触应力，提高了承载能力，一般适用于低速重载的场合。近几年，微线段齿形、非对称齿形等新齿形的研究虽然取得了一些阶段性成果，但仍不成熟，尚需深入研究。随着齿轮传动向高功率密度、高效率、低噪声等方向的不断发展，迫切需要研究开发齿轮新齿形和新传动方式。

齿轮材料的疲劳极限以及载荷谱等基础数据决定着齿轮产品设计的合理性和可靠性。缺乏基础研究及数据成为制约我国齿轮产品设计的重要因素之一。国外研究机构在不断进行齿轮材料性能测试和载荷谱搜集、测试等基础试验研究，而我国自科研院所转制以来几乎没有开展针对齿轮材料和性能试验的基础试验研究，载荷谱搜集、测试等工作也很少。

我国齿轮行业测试仪器和设备紧缺，整个齿轮行业只有不足一半的生产企业拥有各类（机械、光电、数控）齿轮测量仪器，并且这些仪器大多为国外进口。很多齿轮生产企业没有精密测量仪器，部分企业除了万能量具外，没有一台测量

仪器，许多企业没有噪声仪、扭振仪等必备仪器。齿轮行业缺乏为全行业服务的、现代化的高水平齿轮产品综合性能试验台，使许多齿轮新产品得不到第三方检测和设计合理性评定；国家齿轮产品质量监督检验中心的试验设备已经严重老化，已不能满足有关测试要求；一些企业虽建有性能优良的试验台，但几乎都不为行业服务，缺乏试验标准和规范，一般只用于自己产品的出厂试验，这种状况直接影响产品的进一步改进和提高。

产品标准的竞争是最高层次的竞争，实施标准化工程是占领产业价值链高端的重要手段。目前，我国齿轮行业存在着标准化体系不健全，技术和产品适用标准少，贯彻标准率低等问题，不少产品（如超大和超小模数齿轮）已经大大超出现有标准范围。这些差距导致我国齿轮产品存在着设计、制造水平低，可靠性低，寿命短等问题。

随着齿轮传动技术不断向高承载能力、高功率密度、高效率、低噪声等方向发展，对齿轮的强度、可靠性、动态传动性能都提出了越来越高的要求，为此，必须从齿轮基础技术着手，研究开发新齿形和新的传动方式，不断完善齿轮基础数据的积累，加强齿轮产品服务平台和标准化体系建设，为齿轮传动技术的不断提高打下坚实的基础。

1）在新齿形和新传动研究方面取得突破。运用计算机软件模拟、研究齿轮的啮合原理，运用优化、有限元等现代设计理论方法对齿轮进行设计，运用数控技术降低齿轮加工的局限性，研究开发传动效率高、承载能力强、制造和检测比较容易的新齿形和新传动方式。

2）依托专业研究院所和高等院校建设公共研究平台，加大资金投入，建立研究和成果共享机制，持续进行包括齿轮材料极限应力、金相组织图谱测定及载荷谱搜集、试验等齿轮基础研究工作，建立并不断完善齿轮基础数据库。

3）建设面向全行业的现代化的齿轮产品测试服务平台，加强人才队伍和试验测试能力建设，制定产品试验测试标准和规范，满足企业产品测试、评价和改进服务等方面的要求。

4）建立齿轮行业先进完善的标准化体系。在齿标委会和行业协会的组织下，发挥好骨干企业在行业标准制订及修订中的主体作用，鼓励骨干企业制订先进的技术质量标准，用标准规范市场，用标准提升产品质量，用标准引领行业发展；积极推进国内外技术交流，鼓励企业参加国际标准化组织活动，加强与国际标准化组织的合作，努力争取国际标准制订的话语权，使齿轮标准化进入世界强国行列。

9.3.2 设计技术

近些年来，我国齿轮产品的设计水平不断提高，但与欧美和日本等齿轮技术强国相比，差距仍十分明显，主要表现在以下几个方面：

（1）缺乏国产的能够实现多学科行为耦合设计、分析的专业软件　机械产品中，尤其是在同时具有多种物理行为的复杂机械产品中，经常同时存在多个学科的行为，这些不同学科之间普遍存在着或强或弱的耦合作用。产品使用中，多种学科行为之间的耦合作用往往影响着产品的整体性能。如果不能深刻洞察产品中不同学科行为之间的耦合作用并从系统的角度来分析其整体的性能，那么即使产品中每个学科行为设计都很好也不能保证整机的工作性能良好。

对于一些复杂产品，比如内燃机、飞机、汽车等，总体集成设计技术是制约其设计开发能力提升的最重要方面。开发能够实现多学科行为耦合设计、分析的专业软件，研究这些复杂产品中的不同物理行为之间的耦合作用机理，是提高复杂产品的总体集成设计水平的关键。

在产品的现代设计研究中，多学科行为的耦合分析与优化得到了越来越多的应用。多种学科行为之间的耦合作用分析已成为复杂机械产品设计中非常关键的一项工作。

（2）动力学建模和动态特性分析偏差大，减振降噪设计水平低　要定量、准确地分析产品结构的动态特性，首先就必须建立产品结构的动力学模型，在产品的设计阶段，建立动力学计算模型，可以预估产品结构的动态特性，分析结构的薄弱环节，修正产品的设计方案，从而达到改善系统结构稳定性、降低振动噪声、提升产品质量的目的。系统结构动力学模型的准确性十分重要，它直接决定了产品结构动态特性分析结果的正确程度，进一步影响到后续工作的有效性，因此建立尽量精确的动力学计算模型是对产品进行动态设计的基础和保障。

我国在动态设计研究方面起步较晚，大多以仿制国外成熟产品为主，动态设计技术和手段都比较落后，不能对产品进行很好的动态特性分析，造成我国产品在振动和噪声方面与国外发达国家差距明显，缺乏市场竞争力。

（3）多行星轮均载设计技术、混合动力汽车功率合成技术、大型舰船多余度合流与分流技术差距大　随着齿轮传动装置传递的功率越来越大，产品规格尺寸也越来越大，为了满足机械设备传递动力的需要，同时减小传动装置结构尺寸和重量，提高齿轮承载能力以及克服热处理和加工设备的限制，功率分流、合流和均载技术在许多方面得到了越来越多的应用。

对于采用中心驱动功率分流和均载技术的行星齿轮箱，德国的伦克、弗兰德，

瑞士的马格，丹麦的史密斯等制造厂商代表着世界最先进水平，它们采用的行星轮个数最多已达到 8 个，传动功率达到 10 000kW。国内中信重工在 20 世纪 80 年代初率先引进国外的行星减速器技术，并制定了多个行业和国家标准，在国内低速重载领域处于领先水平。另外，南京高精齿轮箱公司的高速行星产品和郑州机械研究所生产的核电行星齿轮箱等都代表着国内行业的先进水平。

与国外相比，国内无论是在研发技术、工艺水平，还是在制造安装等方面都存在着一定差距，特别是在大功率、高速度等领域差距更加明显。

（4）齿轮传动系统的效率和热平衡计算缺乏试验研究和计算依据　传动系统的工作性能与其结构元件的发热强度有着密切的关系。在实际使用中，人们发现许多传动系统某些关键结构的损坏，往往并非由于机械强度或刚度不足造成的，而是由于热负荷过大、冷却不充分而导致烧坏或损坏。随着传动装置传递动力的不断增加，传动系统的功率密度也越来越高，而传动系统所处的动力舱的有效空间又不能成比例地增加，系统的散热条件就会变得越来越恶劣，使得传动系统的可靠性降低，过早地出现失效，传动系统热平衡问题已受到越来越多的重视。

关于传动系统的热平衡问题，国内目前一般采用由经验公式计算或类比给出的方法。这种方法系统性差、精度低，无法适应现代传动装置发展的要求。国外对传动系统热平衡的研究很多，美国约翰迪尔公司、艾里逊公司，德国采埃孚公司和英国戴维布朗公司均有专人研究传动系统热负荷分析，也开展了很多相关的热平衡试验。

总之，对齿轮传动系统的热平衡问题，国内尚缺乏系统分析和实验研究，热平衡计算方法精度低、系统性较差，这也是国内齿轮产品比国外同类产品效率、功率密度和可靠性低的重要原因之一。

要缩短与国外先进国家在齿轮设计水平方面的差距，改善我国齿轮产品效率、功率密度和可靠性低，振动噪声大等方面的问题，就必须加大研究，采取有力措施，不断提高我国的齿轮设计技术水平。

1）强力开发先进的多学科耦合设计、分析软件，提高复杂产品的总体集成设计水平。

2）加强动力学研究，将动力学设计、减振降噪和齿轮修形结合起来，提升产品档次。

3）攻克机电液复合传动核心技术，使汽车自动变速器立足国内制造，开发零滑差复合传动装置。

4）开展热平衡试验研究，降低功率损耗，使齿轮传动装置的强度功率和热

功率相匹配。

5)突破功率分流、合成及余度设计技术，解决舰船、飞机等重要装备功率分流、合成及备份问题。

6）攻克齿轮装置设计关键技术，包括新型离合器和联轴器等关键传动元件设计，新型高效滑动轴承设计，齿轮综合验证技术，齿轮传动寿命预测及可靠性设计评估技术等。

9.3.3 齿轮加工技术

近年来，齿轮产品的性能得到了迅速发展，其发展趋势可概括为：高承载能力、高齿面硬度、高精度、高速度、高可靠性和高传动效率。这些性能的提高，除设计技术外，归结到齿轮加工技术上，就是发展硬齿面齿轮的精加工技术。提升加工技术水平是提高齿轮产品精度、质量、可靠性和生产效率的重要保证，高精度、高效率、低成本、绿色环保是未来齿轮加工技术的主要发展方向。

我国齿轮制造技术水平和制造能力得到了不断提高，但同国际先进水平相比，齿轮生产总体存在以下问题：

1)加工能耗高，材料利用率和生产效率低，产品质量稳定性差，切削液污染等。

2）磨齿烧伤控制缺少标准、规范，检测技术跟不上，造成废品率高，生产效率低。

3）齿轮超硬加工技术、干切削技术、极限制造技术、轮齿喷丸强化技术和近净成形技术等缺乏系统研究。

4）滚齿机、插齿机、铣齿机等齿轮制齿机床在生产效率、制造精度、复合化、大型化等方面与国外先进水平仍存在较大差距。

5）国产数控成形磨齿机存在可靠性低、加工效率低、自动对刀精度不高等问题，数控成形磨齿机大部分仍依赖进口。

6）国产渗碳装备存在自动化程度低、能耗较高，淬火冷却装备水平较低等缺点，难以实现精确工艺控制和节能环保要求，高端齿轮感应淬火机床全部依赖进口。

7）齿轮干切削刀具、高效滚齿刀具、高性能 CBN 刀具和磨齿砂轮几乎全部进口。

8）在测量设备方面，国内目前的状况是：中模数齿轮测量中心相对成熟，测量精度稳定在 4 级；最大齿轮测量中心可测量直径为 2m 的齿轮；在机测量系统尚处在研发阶段；车辆齿轮生产线上的齿轮快速分选测量机已投入生产；还没

有满足齿轮测量的坐标测量机，小模数齿轮测量仪器和大直径齿轮测量仪器几乎全部进口。

要解决目前我国齿轮制造中存在的问题，改善我国齿轮产品制造水平，必须攻克一系列关键加工和工艺装备技术，重点可以从以下几个方面着手：

1）开展齿轮冷锻、温锻等近净成形技术和模具制造技术的研究，提高车辆齿轮类零件和轴类零件的近净成形率。

2）研究齿轮超硬加工及干切削技术，提高加工效率，减小污染。

3）开展大型齿轮等零件修复技术研究，实现大型和贵重零件再制造。

4）研究微齿轮等微零件制造技术，满足超小体积传动装置的需求。

5）开发高精、高效、大型数控齿轮磨齿机、干式滚齿机和硬齿面滚齿机；开发高效滚齿刀具和材料切除率高、寿命长、修整频率低的磨齿砂轮；开发高档热处理设备；开发特大型齿轮在位测量系统等。

9.3.4 齿轮材料及热处理技术

经过近十年的发展，我国的齿轮技术取得了长足的进步，但除了少数企业的产品达到或接近国外先进水平外，大部分企业的产品在疲劳寿命与噪声指标上与国外先进水平的差距仍十分明显，企业陷于低价低质的恶性竞争。而这往往与齿轮材料与热处理装备及工艺水平息息相关，它们已成为我国齿轮产业进一步发展的技术瓶颈。

材料是齿轮质量的根，也是热处理变形控制的基础。我国的齿轮产品目前存在着材料品质较低，铸锻件缺陷较多，渗碳淬火变形大，磨齿容易出现磨削裂纹、烧伤和磨削台阶，且渗碳周期长、能耗高、易产生内氧化等问题。而要解决这些问题，首先要从齿轮钢材的质量控制着手。自 2004 年以来，中国机械通用零部件工业协会齿轮分会陆续制定和发布了一系列车辆齿轮钢材的采购标准，通过贯彻实施，齿轮的生产水平有了很大提高。

齿轮的热处理变形控制是保证高质量磨齿的基础。材料解决了，经过粗加工，下一步便是进行热加工，只有经过热处理，才能提高齿轮产品的硬度、寿命和可靠性，但热处理必然导致产品变形，如何最大限度地控制热处理变形仍然是一个世界性的难题。我国在热处理的变形控制方面，与国外先进水平相比，仍存在较大差距，这也是我国高端齿轮产品振动噪声大、可靠性低、寿命短的关键原因所在。没有好的变形控制，就没有好的磨齿齿轮。有的企业为了满足产品几何精度的要求，靠磨齿掩盖超偏差的热处理变形，这种观念和做法都是十分错误的，很

难从根本上解决问题。磨齿修正变形只能在合理的公差范围内实行，否则容易导致齿轮渗碳层不足，齿面硬度下降，齿根过渡曲线光滑过渡遭到破坏，将严重影响齿轮的承载能力和疲劳寿命。

另外，热处理工艺控制水平也是影响齿轮产品质量的关键因素之一，一些企业用的设备相同，生产的产品也一样，但产品的质量水平却高低不同，这与它们的热处理工艺控制水平有着很大关系。数据积累是热处理工艺控制软件水平提高的必由之路。热处理的数控装备可以促进热处理工艺水平的提高，同时热处理工艺数据的积累可以促进热处理工艺控制水平的提高，三者是相辅相成的关系。

要解决我国齿轮材料品质低、缺陷多以及热处理工艺技术水平不高等问题，改善齿轮产品的质量，就必须加大研究，实施一系列切实可行的手段和措施。

1)提高齿轮钢材和铸锻件的冶金质量,降低钢中含气量和非金属夹杂物含量，控制齿轮钢的淬透性带宽。

2）开发高温高性能钢、低温耐冲击钢、高压气淬微变形钢、快速渗氮钢及沉淀硬化钢等各类特殊性能齿轮钢，满足特殊工况条件下对齿轮钢的要求。

3）攻克渗碳和渗氮催渗技术，提高生产效率；攻克深层渗氮技术，提高渗氮齿轮承载能力，扩大应用范围。

4）研究齿轮感应淬火工艺应力形成机制和规律，优化淬火工艺，控制残余应力，克服淬火开裂；研究多频感应加热淬火及感应压床淬火新工艺。

5）研究复合热处理齿面强化技术以及高能密度硬化及喷丸强化等技术，提高齿轮的承载能力和可靠性。

6）加强齿轮企业与钢厂的密切合作，推动齿轮钢采购标准的进一步贯彻和实施。

7）鼓励齿轮企业形成自己的产品热处理工艺软件，形成自己的工艺诀窍，根据自己的产品工艺特点，形成自己的产品工艺规范。热处理设备企业则应在提升设备数控化水平和控制水平的基础上，做好售后服务，与用户一起将热处理设备用到最佳。

8）鼓励热处理装备企业与齿轮生产企业联合研究热处理的成套装备与工艺规范；制定渗碳、淬火、热处理的通用规范，这样既规范了数控化成套装备的配置，也保证了渗碳、淬火工艺的稳定性。

9.3.5 润滑、冷却与密封技术

润滑是防止和延缓零件磨损和其他形式失效的重要手段；密封对于机电产品

防止“三漏”（漏油、漏水、漏气），保证安全运行，提高性能和效率，节约能源，保护环境具有重大意义，润滑、冷却和密封技术在机械传动装置运行和保养中均起着重要作用，影响设备的性能、精度和寿命。在强调经济和社会可持续发展的今天，润滑、冷却和密封的重要性尤为凸显，世界各国均高度重视润滑、冷却和密封技术的研究和应用。

自从人类将工具发展成机器以来，人们就认识到了运动和摩擦、磨损、润滑的密切关系，但是长期以来，研究工作和实践多数是围绕着表面现象进行的；随着科学技术的不断进步，现代设备不断向着高精度、高效率、超大型、超小型、高速、重载、节能、可靠性、维修性等方面发展，导致机械中摩擦部分的工况更加严酷，润滑变得极为重要，许多情况下甚至成为尖端技术的关键，润滑不再仅是“加油”的问题了。实践证明，要解决润滑问题，必须掌握摩擦、磨损、润滑的本质和规律，将设计、材料、加工、润滑剂、润滑方法等方面综合起来进行研究，实行严格的科学管理，才能收到理想效果。

密封技术的发展基本上与主机的发展同步。进入 21 世纪，随着工业技术的迅猛发展，机械设备的运行条件日益严酷，对密封产品的性能和使用工况都有了更高要求，主要表现在：

1）使用温度范围更宽广，高温、低温均突破现有工况极限。

2）高速化、高压化。

3）技术性介质及添加剂越来越复杂，对密封材料的腐蚀性增强。

4）高真空和无油润滑密封等。

这就要求不断开发新型密封材料并改进现有材料，以提高密封件的使用寿命和可靠性。

进入 21 世纪以来，我国的润滑、冷却和密封技术均取得新的进展，但在齿轮产品的摩擦设计、高品质润滑介质开发、高效润滑冷却技术、优性能长寿命密封材料开发、高可靠密封技术等方面，与国际先进水平相比，差距仍十分明显，因润滑和轴承问题造成齿轮箱失效的比率较高；齿轮产品漏油问题既普遍又严重，既浪费介质又污染环境。

随着工业技术的不断进步，齿轮传动不断向着高速、重载、复杂服役环境、高可靠性等方向发展，齿轮产品的使用条件将更加恶劣，与之相关的润滑和密封方面的问题将更加突出，对润滑和密封产品将提出更高、更严格的要求。要解决这些问题，就必须采取一系列措施，应对可能出现的各种挑战。

1）根据不同传动载荷和工况需求，开发高品质、多品种、少无污染的润滑介质。

2)研究固体润滑、气体润滑、自润滑技术，满足特殊服役环境齿轮传动的需求。

3）研究密封材料，开发性能优、寿命长的新结构和高分子密封材料，解决齿轮箱漏油和频繁更换密封件的问题。

4）开发智能密封系统，通过自动感应密封的过盈磨损情况，自适应调整弹性件的压缩量，从而恢复密封作用。

5）研究涂层密封技术、磁流体密封技术和水液压系统密封技术等，满足特殊工况条件下对密封的要求。

6）开发高承载能力、高可靠性、长寿命轴承，改变高参数齿轮箱轴承几乎全部依赖进口的局面。

7）开展摩擦学设计和油液检测与故障诊断技术研究，加强密封基础理论的研究，争取在动密封机理的研究方面取得突破。

9.4 我国齿轮产品体系的构建

经过 40 年的发展，到 20 世纪 80 年代末，我国齿轮行业门类基本齐全，研发与生产体系基本形成。近 20 年来，我国齿轮产业得到了快速发展，但仍存在着产品档次低、可靠性差、寿命短等突出问题。目前，每年进口的机电大宗商品中，基础零部件占到 76% 以上，国产装备 70% 的利润被进口零部件“吃掉”。基础零部件行业总体上处于低水平产品过剩、高水平产品不足、尖端产品短缺的状况，严重制约了我国装备工业的健康发展。其主要表现在：

1）高端产品能力不足，中低端产品产能过剩。行业内低层次重复建设、同质化恶性竞争现象时有发生。据初步统计，我国齿轮产品中高端产品约占 10%，中端产品约占 50%，低端产品约占 40%。

2）产品质量的稳定性、一致性较差。除了高端产品难以满足市场需求外，我国齿轮产品普遍存在产品可靠性较低、寿命较短等问题，漏油、断轴、断齿、振动大、噪声高、温升超标等问题难以避免。同时，在产品制造和使用过程中，在生产效率、能耗、物耗、排放、环保等方面与国外先进水平差距很大。

3）齿轮材料品质较低，铸锻件缺陷较多，特殊用途的齿轮钢缺乏以及齿轮热处理变形大。齿轮材料品质低、缺陷多以及热处理工艺技术落后，是造成我国齿轮产品承载能力低、可靠性低、废品率高的重要原因之一。

4）关键制造与试验测试设备能力不足，高档数控装备熟练操作人员缺乏。尽管我国进口了大量的高档数控齿轮加工、检测设备，但总体而言，关键制造装备的能力仍显不足，特别是相当数量的中小企业。另一方面，高档数控机床的熟练操作人员严重不足，影响了数控机床性能的充分发挥。目前，我国齿轮生产企业的关键设备主要依赖进口，如数控磨齿机、高效刀具和砂轮、高精度检测设备等。

5）新产品开发手段不高、开发速度缓慢。我国齿轮行业在核心设计技术的掌握和新产品开发能力方面与国外先进技术还有较大差距，尤其是中小企业缺少新产品开发的技术人才、资金及必要的仪器设备，致使产品长期处于跟踪和模仿阶段，产品更新换代周期较长，无法适应市场变化的节奏。

因此，在尽快完善我国齿轮行业技术体系的同时，加快新产品开发力度和进度，尽快构建完整的产品体系，是提高我国齿轮产业为战略性新兴产业配套服务能力的关键。

9.4.1 齿轮材料

齿轮材料和热处理涉及齿轮材料的种类及冶金质量、毛坯的制造方式和内在质量、齿轮热处理方式及热处理质量等。我国齿轮材料和热处理是随着机械工业对齿轮质量和性能要求的不断提高而发展的。20 世纪 80 年代之前，我国齿轮生产主要采用软齿面调质工艺，而目前主要以渗碳淬火硬齿面 + 齿面精加工的工艺为主，在其他条件相同的情况下，渗碳淬火齿轮的接触疲劳承载能力约为软齿面的 2.5 倍。表 9-1 为转矩为 21kN • m 时，软、硬齿面齿轮性能参数及成本的对比情况。

表 9-1 软、硬齿面齿轮性能参数及成本的对比情况

项目 \ 钢材		45 钢	42CrMo4	20MnCr5 42CrMo4	31CrMoV9	34CrMo4	20MnCr5
热处理		正火	调质	渗碳淬火 调质	渗氮	感应淬火	渗碳淬火
加工方法		滚	滚	滚 / 磨	剃	磨	磨
中心距 /mm		830	650	585	490	470	390
质量 /kg		8 505	4 860	3 465	2 620	2 390	1 581
安全系数	接触	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6
	弯曲	6.1	5.7	3.9	2.3	2.3	2.3
价格比（%）		132	100	85	78	66	63

齿轮钢材的冶金因素中，以钢材的纯净度、淬透性及原始组织最为重要。齿轮钢材质量对齿轮强度性能和工艺性能的影响见表 9-2。

表 9-2　齿轮钢材质量对齿轮强度性能和工艺性能的影响

钢材质量				对齿轮性能的影响	
项目		表现形式		工艺性能	强度性能
1	成分	元素波动、杂质元素		切削性变坏（表面粗糙度）且热变形波动大。例如对 CrMn 系列钢材而言，杂质元素 Mo 的质量分数大于 0.04% 即对切削性能产生不良影响	有些元素会降低齿面硬化层表面质量（如 Si 含量多时，促使表面层晶界氧化），从而降低齿轮疲劳寿命
2	淬透性	高		切削困难且热变形大（如孔缩严重）	易断齿（因齿心部强度过高）
		低		表面质量差，去毛刺困难，热处理后心部硬度降低	易产生齿面硬化层压溃失效现象
		波动大		因齿轮材料硬度波动而使制齿（如剃齿）精度下降，热变形精度增加	
3	纯净度	氧含量超标			降低齿轮材料疲劳强度
		夹杂物			降低齿轮疲劳寿命
		硫含量过低		降低切削性	
4	高倍组织	晶粒度	过细	切削性差	
			过粗	热变形大	疲劳寿命低
			混晶	热变形波动大	
		魏氏组织超标		切削性差，热变形波动大	
		带状组织超标		切削性差，热变形波动大	
		粒状贝氏体过多		切削性差（材硬），热变形大	
5	低倍缺陷	偏析		热变形波动大	
		疏松			降低齿轮强度
		发纹			降低齿轮强度

钢材通常采用电弧炉在大气中冶炼的工艺，比较简单，也经济。但合金成分由于烧损而不易控制，而且钢液中杂质和气体含量也较高，浇注时还会产生二次

氧化，因而钢的质量难以保证。

钢液的纯净度是保证锻件质量的关键因素，目前先进的冶炼方法是采用电炉粗炼 + 二次精炼。二次精炼通常采用喷粉法、真空碳脱氧法（VCD）、钢包精炼法（VAD、CF）、大气吹氧氩脱碳法及电渣重熔等方法。

通过二次精炼可以使钢中氢、氧、氮的含量控制在很低的水平，并大大降低硫、磷的含量，显著减少非金属夹杂物的数量，改善夹杂物的形态。

随着炼钢技术的发展，钢包精炼法显示出了独特优点而得到广泛应用。

采用钢包精炼法时，普通的平炉或电炉仅起到熔化钢液的作用，当钢液达到一定温度后，只进行脱碳和脱磷，然后将钢液倒入钢包进行精炼。

钢液进入钢包后首先进行吹氩、预热及成分的预调整，并造还原渣。钢液在1Torr（1Torr=133.322Pa）以下的真空度下用氩气强力搅拌去气，然后进行脱氧和脱硫，并调整钢液成分和温度，等待浇注。采用以上精炼方法可以实现氧的质量分数小于 20μg/g，氢的质量分数小于 10μg/g，硫的质量分数小于 10μg/g，磷的质量分数小于 30μg/g。真空脱气冶炼工艺可提高钢材纯净度，从而提高钢材的力学性能。对某些高要求的齿轮还可以采用电渣重熔技术，即在水冷结晶器中，借助熔融炉渣的电阻热使电极熔化生产钢锭的方法。

对齿轮钢中氧含量的控制要求，目前我国齿轮行业标准已将齿轮钢中氧的质量分数规定为小于等于 20μg/g，国际先进水平为 12μg/g 以下，而国内有些特殊钢铁企业采用 LF+VD 或 LF+RH 精炼技术已经可以达到 15μg/g 以下。晶粒度方面，目前我国齿轮钢的晶粒度级别一般要求为 5 ～ 8 级，而日本特别强调渗碳齿轮钢的晶粒度应不粗于 6 级。此外，从目前某些引进齿轮钢来看，混晶（粗细不均）现象极易发生，这就要求钢厂和齿轮厂在工艺上积极采取措施，共同攻克这一难题。加工性和易切削性方面，随着齿轮加工自动化程度的不断提高，为了进一步追求生产效率的提高，研究使用易切削的齿轮钢也是一个重要的发展方向，如法国和德国标准中，硫的质量分数一般只有 0.020% ～ 0.035%，比我国 GB/T 8731—2008 《易切削结构钢》中规定的硫的质量分数（最低为 0.04% ～ 0.08%，最高为 0.23% ～ 0.33%）低得多。显然，仅按常规的冶炼方法来提高易切削性仍是比较困难的，需要通过合适的冶炼工艺以改善硫化物的形状及其分布状态来实现。另外，通过钢材锻轧后的空冷处理，防止粒状贝氏体的出现，改善金相组织，也是提高切削性能的有效途径。

目前世界各国对渗碳齿轮钢的基本要求主要有：

1）足够的心部淬透性和良好的渗层淬透性，确保齿轮渗碳淬火时渗层和心

部出现过冷奥氏体分解产物。

2）齿轮渗碳淬火后变形小，减少齿轮的磨削加工余量，提高生产效率，降低能源消耗。

3）良好的成形性，包括热塑性变形成形、冷塑性变形成形和切削加工成形，能耗小，精度高，模具和刀具损耗小。

4）良好的可热处理性，包括毛坯热处理、渗碳前预处理及渗碳淬火，在保证获得要求的性能和金相组织的前提下，降低能耗，缩短生产周期。

总体而言，国外齿轮钢体系比较完整，可针对不同零件选择相应的齿轮材料。钢铁企业通过技术革新，采用先进的钢包二次精炼、成分微调、连铸以及计算机模拟等技术，能够保证齿轮钢对强度、塑性和韧性的要求，同时满足齿轮制造企业对渗碳齿轮钢的淬透性、纯净度和细晶粒度等要求。

目前，国际上齿轮材料向着多品种、高品质、低成本方向发展，齿轮热处理技术及装备向着控制精准化、生产高效低耗方向发展，我国齿轮材料及热处理已成为制约我国齿轮产品质量和性能进一步提高的重要因素，与国外先进水平相比，我国在齿轮材料及热处理方面存在的主要问题有：

1）齿轮材料品质较低，铸锻件缺陷较多，一些特殊要求的材料如直升机高温高硬度齿轮钢、高寒气候用军用车辆低温抗冲击齿轮钢、低应力感应淬火齿轮钢等缺乏。

2）齿轮渗碳淬火变形大，磨齿时容易出现磨削裂纹、烧伤和磨削台阶，且渗碳周期较长、能耗高，易产生内氧化，影响齿根弯曲疲劳强度；渗氮渗层薄，不适合较大模数的齿轮，若增加层深，时间太长，而且相关成分控制困难；感应淬火齿轮易出现齿根淬火开裂，硬化层与心部的过渡层薄弱往往引起早期疲劳剥落，严重影响齿轮承载能力和可靠性。

9.4.2 车辆齿轮

近年来，我国以汽车工业为代表的交通运输业发展迅猛，特别是乘用车已进入普通家庭。目前，我国汽车齿轮的最高制造水平已接近或达到西方发达国家汽车齿轮制造水平，基本上实现了采用滚齿 / 插齿 / 剃齿 / 热处理工艺将齿轮的变形量控制在满足轿车或货车齿轮承载能力和噪声性能要求的范围内，热处理后不需要进一步的精加工，且产品稳定达到设计标准要求，如上海大众、一汽大众等大型骨干企业。但是，我国的汽车齿轮制造业大多数企业，缺乏对高端产品核心设计技术的掌握，齿面修形技术也有较大的差距，主要体现在齿轮制造质量水平

和稳定性与国际先进水平尚有较大差距，要想走向国际市场仍有较长的路要走。

1. 汽车变速器

新中国成立 60 多年来，特别是 2001 年我国加入 WTO 后，我国的汽车变速器行业随着汽车工业的快速发展而不断发展壮大，目前已形成了一批颇具规模的变速器企业，汽车变速器的产销量逐年递增，技术水平不断提高，自主创新能力也得以增强。在手动变速器领域，尤其是在重型车用和微型车用手动变速器方面，涌现了大量自主创新的产品。另外，随着一些跨国公司独资或合资的变速器企业开始陆续在我国设厂，也为满足持续高速增长的我国汽车市场需求作出了贡献。在自动变速器领域，我国自主创新的产品几乎是空白，行业内尽管不乏为开发自动变速器呕心沥血的人和企业，但时至今日仍迟迟没能实现规模化生产，每年仍大批量进口产品，这是导致我国齿轮产品进出口逆差的主要原因。

截至 2010 年年底，国内变速器市场，合资企业生产的变速器占市场的 45%，仍是市场主力；国外品牌占 32%；国内企业生产的变速器市场占有率只有 23%。我国自动变速器进口持续增长，进口总额已经从 2001 年的 4.8 亿美元上升至 2009 年的 55.6 亿美元。发展自动变速器是全球的大势所趋，如在日本，有近 400 款专为女性开发的小排量轿车车型，其中采用 AT 自动变速器的车型有近 200 款，采用 CVT 无级变速器的有 40 款，只有少数车型采用手动变速器。

尽管中国自动变速器产业化已经起步，如北方奔驰重型车、一汽、东风等都在发展 AMT，奇瑞在发展 CVT，一汽、上汽、吉利等正在开发 DCT，但我国自动变速器的自主创新进展缓慢，总成技术发展存在三个瓶颈。一是缺乏可靠性、抗疲劳制造技术，二是共性基础技术分散、缺失，三是自动变速器总成机电融合的配套产业链没有形成。此外，跨国公司已经与国内主流整车厂展开深入合作，并按地理位置“瓜分”地盘。不仅如此，跨国公司正在将最先进的技术和产品输入我国，这将对国产变速器产业造成极大的冲击。

2. 工程机械及摩托车齿轮

在我国工程机械主要核心零部件中，齿轮是国内配套体系最完善、市场满足率也最高的零部件，也是最具自主知识产权的关键配套件。国产核心零部件之一的液压元件，从价值上讲，国产配套满足率只有 30%，特别是价值很高的变量液压元件，几乎全部依赖进口。而包括齿轮在内的传动核心部件的国产配套件的满足率在 70% ～ 75% 以上，只有少数高档和大规格传动部件仍需进口。

变速器方面，复杂行星式变速器由于制造难度大，国内技术尚不成熟，老的

简单的行星式变速器虽然仍在最广泛地使用，但由于某些缺陷已从根本上无法克服，技术也再无突破性发展。

我国高端工程机械齿轮传动装置的技术水平仍有较大的发展空间，应该大力加强技术创新，通过优化、改进齿轮、轴类、壳体等关键零件的材料与制造工艺，进一步提高产品的使用寿命和可靠性，减轻重量，缩小体积，采用先进的换档元件和换档方式，减轻驾驶员的劳动强度，缩短动力中断时间，提高工程机械的作业效率。提高国内液力传动装置水平的关键是加快先进技术的引进和联合兼并的步伐，早日在我国建成具有世界一流技术水平的专业化生产企业，只有这样才能实现液力传动产品的专业化、系列化与规模化生产。

冷精密成形等近净成形技术是车辆齿轮的技术发展趋势之一，未来发展空间巨大。与切削加工的齿轮相比，采用冷精密成形工艺制造的齿轮具有完整的纤维组织，力学性能得到大幅度提高，具有尺寸小、强度高、使用寿命长、节材节能、生产率高、生产成本低、生产组织容易等优点，符合汽车轻量化发展的趋势。国内精密成形齿轮技术大多应用到乘用车差速器锥齿轮和变速器结合齿轮，预计2012 年汽车差速器和变速器精锻件市场需求超过 230 亿元。日本、欧美等地区每辆汽车精密锻造成形零件平均约 56kg，而我国生产的汽车中精密锻造成形零件的应用不足 20kg，近净成形和净成形齿轮制造技术在我国具有广阔的发展前景。

9.4.3 工业通用齿轮

工业通用齿轮箱通常指标准的、批量生产的、系列化的齿轮箱产品，包括齿轮减速电动机（齿轮马达）、系列渐开线圆柱齿轮减速器、系列行星减速器、摆线减速器等。

20 世纪 80 年代中后期，在初步掌握硬齿面齿轮技术的基础上，我国工业通用齿轮产品曾经历了一次从软齿面到硬齿面的质的飞跃，相继开发出了若干个系列硬齿面齿轮箱，并在推广应用过程中解决了设计、制造工艺、刀具及检验等许多技术难题，掌握了成套的硬齿面齿轮箱制造技术，推动了整个齿轮行业的产品结构调整和技术进步，缩短了与国外先进技术水平的差距。20 世纪 90 年代以后，随着国家计划经济向市场经济的转变，原有的依赖国家和行业的研发体制不复存在，新的以企业为主体的研发能力尚未形成，导致工业通用齿轮箱一成不变地生产了十余年。而此期间，国外齿轮产品普遍经历了一次新一轮的更新换代，不但在性能上大大超过国产齿轮产品，而且由于新材料、新工艺、新装备的采用，国外产品的成本也得到了普遍降低，使得国产齿轮箱产品在中高端市场几乎彻底失

去了竞争力。随着 SEW、FLENDER 等国外产品的大量涌入，也激活了我国工业通用齿轮箱市场，目前已基本形成了低端产品国内企业竞争惨烈、中端市场国际品牌与国内产品竞争激烈、高端市场国际品牌产品占据优势的局面。

目前，我国工业通用齿轮箱的生产技术与国际先进水平基本同步，由于这类齿轮箱的技术门槛、设备门槛相对较低，我国大部分中小工业齿轮生产企业都在生产这类产品。企业数量有几百家之多。随着行业技术水平的普遍提高，企业制造能力的不断加强，品牌意识的不断提高，相信我国在工业通用齿轮箱领域会逐步缩短与国外先进水平的差距，在高端市场取得突破。

9.4.4 工业专用齿轮

工业专用齿轮一般指为某领域、某主机配套的齿轮产品，一般具有单件或小批量生产、技术性能指标较高、制造过程较复杂等特点。其主要包括航空齿轮、船用齿轮、冶金齿轮、风电增速箱、煤矿机械齿轮、石化机械齿轮、矿山建材齿轮及机车驱动单元等。与工业通用齿轮箱相比，工业专用齿轮对设计、制造技术要求较高。目前，我国中低端工业专用齿轮箱已基本可以满足市场需求，高端产品仍需依赖进口。

1. 高速齿轮

高速齿轮及其传动装置一般指齿轮线速度大于 25m/s 以上的齿轮，主要应用于能源、石化、冶金及舰船等领域。高速齿轮箱往往是整个机组、生产线甚至整个车间的关键设备，一旦出现运行事故，将造成整个车间甚至整个企业运行的瘫痪，导致重大安全事故和巨大经济损失。因此，对高速齿轮箱可靠性和寿命的要求极其苛刻，高速齿轮箱的设计制造水平往往代表了整个行业的技术水平。目前，国外最高齿轮线速度可达 300m/s，最大功率达 100 000kW。我国高速齿轮的线速度已达 180m/s，最大功率达到了约 60 000kW。尽管我国在高速齿轮（包括高速行星齿轮）箱方面取得了长足的进步，但与国际先进水平相比，在以下方面还存在不小的差距：

1）设计、制造及运行经验。

2）系统动力学设计分析技术。

3）精密修形技术。

4）试验、检测及监控技术等。

2. 兆瓦级风电增速箱

近五年来，随着我国风电装机量井喷式的发展，风电增速箱设计制造水平和

能力也得到了迅猛发展。除传统的几大专业工业齿轮制造厂外，不少企业均采用仿制、联合设计、引进技术等形式，试图进入风电齿轮箱领域，但真正实现量产的企业并不多，导致我国成为国际各类技术、各种新技术的试验场和大量重复引进。目前，我国风电齿轮箱方面存在的问题主要有：

（1）缺乏对核心技术的掌握，基础研究有待深入　总体而言，我国还缺乏对兆瓦级甚至多兆瓦级风电增速齿轮箱核心技术的掌握，如：高可靠性、高功率密度设计技术，复杂变动载荷下齿轮、轴承、箱体等关键零部件疲劳强度计算方法研究、高可靠性设计制造技术等。

从单机容量上看，国外 5MW 的风电齿轮箱已投入运行多年，据称到 2020 年将开发出 20MW 的机组，国内目前主流产品仍为 1.5 ～ 2.0MW；从风电齿轮箱结构看，国外 FLENDER 型、Renk 型、Jake 型等结构形式多样，国内目前齿轮箱的结构基本采用国外技术或仿制，对功率分流方式、均载形式、轮齿精密修形等缺乏深入研究和成熟经验。

（2）齿轮传动装置可靠性不高　风电齿轮箱作为整个机组的核心装备，其结构较复杂，设计制造要求很高，而且其使用工况十分复杂，对齿轮传动装置的可靠性提出了严格要求。长期以来，国内缺乏对这类复杂产品的系统深入研究，缺乏制造、装配、运行等质量控制的手段和经验，设计时缺乏对系统的整体分析，缺乏系统可靠性设计的方法，缺乏对系统动力学的深入研究，缺乏对均载机构设计及分析技术的研究等，造成断齿、断轴、轴承损坏、漏油及温升过高等问题，长期困扰国产增速箱的使用。

（3）缺乏丰富有效的基础设计数据和产品试验方法和手段　风电齿轮箱长期受复杂交变载荷作用，运行过程中长期伴随切入、切出及停机等事件发生，产品的科学设计离不开丰富有效的基础设计数据和设计方法，但国内既缺乏有效的设计数据，也缺乏变载荷作用下齿轮、轴承等关键零部件的可靠设计计算方法。

目前，部分风电齿轮箱制造厂已具备了一定的试验测试手段，但国内对风电齿轮箱的试验方法还缺乏深入系统的研究，如何在较短的时间内对风电齿轮箱的性能、可靠性等作出评估仍是制约我国风电齿轮箱发展的因素之一。

同时，基础设计数据和试验测试手段仅掌握在个别制造企业手中，不对全行业开放，造成有限的资源不能共享，重复研究、重复引进、重复建设等资源浪费现象严重。

（4）无序的快速发展和恶性竞争严重影响了行业的持续发展　我国风电机

组装机量连续 7 年的超常规发展（其中 6 年连续翻番），以及风电齿轮箱发展缺乏规划和行业约束，导致出现乱引进、乱投资、乱竞争等行业无序发展现象。同时，齿轮箱价格在原材料和制造成本没有明显下降、国产轴承还不能替代进口轴承的情况下逐年下降，生产企业利润空间逐年压缩。随着风电装机量发展速度的放缓（2011 年新增装机量比 2010 年减少 6.8%），风电增速箱产能出现局部过剩。同时，导致部分企业的投资难以短时间获得回报。

3. 核电齿轮箱

目前，核电齿轮箱主要用于与循环泵配套，一般采用立式行星齿轮箱。目前我国核电装备国产化率较低，国内百万千瓦级机组核电站泵阀及其配套零部件几乎完全依赖进口，目前运行的核电站海水循环泵齿轮箱更是全部进口。由江苏泰隆减速机股份有限公司和郑州机械研究所分别为红沿河 / 宁德和福清 / 方家山配套的首批国产齿轮箱已进入现场安装阶段。这类齿轮箱一般采用行星齿轮传动，设计功率均在 5 000kW 以上。郑州机械研究所从 2007 年开始针对百万千瓦级核电站混凝土涡壳循环泵齿轮箱进行国产化研究，采用国际上先进的高功率密度、立式、双浮动、双斜齿行星齿轮传动设计制造技术，为福建福清和浙江方家山开发出了设计功率分别达到 6 500kW 和 5 600kW 的核电站涡壳水泥循环泵用行星齿轮箱。在产品研制过程中，研究了薄壁鼓形齿联轴器的几何参数、行星轮个数、均载方式、刚度及误差等因素对系统均载性能的影响；研究了中心距、模数和极限应力等因素对齿轮接触强度和弯曲强度模糊可靠性的影响；解决了大型薄壁、大螺旋角斜齿内齿圈高效制齿技术、热处理工艺及变形控制技术以及大型鼓型齿联轴器的制造等关键制造技术等；产品采用双斜齿、多行星轮的行星齿轮传动和太阳轮 - 内齿圈双浮动均载机构，最大限度地提高了承载能力。所开发的 6 100kW 样机于 2008 年 11 月通过了国家能源局和机械工程联合会组织的专家验收。在此基础上，2009 年中标福建福清和浙江方家山各 4 台海水循环泵行星齿轮传动装置的配套生产任务，实现了我国百万千瓦级核电循环泵齿轮传动装置的国产化。郑州机械研究所生产的 6 500kW 核电齿轮箱如图 1-4 所示。

虽然我国核电用齿轮箱的成套制造能力已取得初步突破，正在逐步改善提高之中，但总体而言，与国际先进水平还有一定差距，在核心设计制造技术的掌握、生产运行经验的积累、管理水平和核安全文化水平方面还有待提高。相信未来一个时期，随着我国核电装机容量的快速发展，我国核电齿轮箱的成套制造能力会

大大提高。

4. 齿轮调速装置

齿轮调速传动装置可在电动机转速不变的情况下实现输出转速的无级调节，具有降低功耗、延长机械设备寿命、控制精度高、可靠性高、减少冲击振动、运转及维护成本低等特点，广泛应用于火电机组的锅炉给水泵等设备中。目前，小规格的产品已基本实现国产化，但超临界和超超临界火电机组用的大型齿轮调速装置完全依赖进口，国内尚没有一家企业能够生产。

超临界和超超临界火电机组的齿轮调速装置是把机械传动中的齿轮传动和液体传动中的液力传动结合起来形成的控制调速装置。齿轮调速装置主要由齿轮副、液力偶合器、液压泵、冷却系统及调速控制系统等组成。按齿轮副所在的位置不同可分为：前置齿轮式（在液力偶合器输入轴之前配置齿轮传动）、后置齿轮式（在液力偶合器输出轴之后配置齿轮传动）和复合齿轮式（在液力偶合器的前后均配有齿轮传动）三种。按转速状况可以分为五种：前置齿轮增速型、后置齿轮增速型、后置齿轮减速型、复合齿轮增速型和前增后减复合型。

从 20 世纪 50 年代开始，超临界机组技术已经在美国、日本、德国及前苏联等国家得到不断的发展与应用。美国是世界上最早开发研制超临界、超超临界机组的国家。1957 年世界上第一台（125MW）超临界机组开始试运行，1972 年世界上单机容量最大的 1 300MW 超临界机组投入运行，最长运行时间已达 40 年。目前配备 600MW、1 000MW 超临界、超超临界火电机组的锅炉给水泵的传递功率是 6 000 ～ 12 000kW、转速为 5 000 ～ 6 650r/min。这样大功率、高转速的齿轮调速装置的主要国外生产厂家有德国福伊特、英国液力驱动、意大利传斯罗伊、日本荏原和日立等，其中德国福伊特的技术在世界上处于领先地位，最大传递功率可达 60 000kW，最高转速为 20 000r/min，效率为 95% ～ 97%；日本荏原的最大功率为 20 000kW，最高转速为 13 000r/min，效率为 94%；日立最大功率为 22 000kW，最高转速为 12 000r/min，效率为 93% ～ 95%。国外火电机组蒸汽参数发展过程见表 9-3。

齿轮调速装置迄今尚无国际、国内标准，技术先进和国际影响较大的福伊特公司和英国液力驱动工程公司的企业标准被认为是国外先进标准。由于福伊特液力偶合器在我国应用较多，故其技术对我国影响较深。

表 9-3　国外火电机组蒸汽参数发展过程

时期	蒸汽温度 /℃	蒸汽参数属性
20 世纪 50 年代	538 ～ 566	亚临界、超临界
20 世纪 60 年代	538 ～ 566	亚临界、超临界
20 世纪 80—90 年代	566 ～ 593	超超临界
20 世纪 90 年代	600 ～ 610	超超临界
2000 年以后	620 ～ 700	高效超超临界

我国超临界、超超临界机组发展较晚，20 世纪 80 年代后期开始从国外引进 30 万 kW、60 万 kW 亚临界机组，第一台超临界机组于 1992 年 6 月投产于上海石洞口二厂（参数：2×600MW，25.4MPa，541℃ /569℃）。从引进到完全消化吸收，用了近 20 年时间。国产超临界发电技术从 2000 年起步，到投入商业化运行，只用了 3 年时间。而国产百万千瓦级超超临界技术从项目研发到 2006 年玉环电厂首台机组投入运行，仅用了 4 年时间。应当说，这种跨越式的发展正是发电业和电站装备制造业共同进步、共同发展的可喜结果。在国家对“超超临界燃煤发电技术”研发的大力支持下，我国发电业及电站装备制造业的整体水平跃上了一个新台阶。

随着火力发电技术的迅猛发展，齿轮调速传动装置正在向大功率、高速、高可靠性方向发展，然而我国在高参数、大功率、高可靠性调速传动装置方面与国外先进水平差距很大。由于齿轮调速传动装置结构紧凑，对其零部件的材料、强度、精度、质量及装配等要求较高，所以国内掌握设计生产齿轮调速传动装置技术的企业很少，能制作大功率、高转速液力偶合器及其调速产品的生产厂家更少，主要有沈阳水泵股份有限公司、广东中兴液力传动有限公司及大连液力偶合器有限公司等厂家，且主要生产 5 000kW 以下的中小型号，大型调速装置的研究开发尚为空白，特别是用于超临界、超超临界火电机组锅炉给水泵的机电液调速传动装置现仍全部依赖进口。自 1983 年我国进口齿轮调速传动装置以来，国内进口量已超过 2 000 多台。国内部分引进机组调速传动装置的主要参数见表 9-4。

2009 年 12 月哥本哈根世界气候大会的召开，给我国的发电行业进一步施加了节能减排的压力；与此同时，我国政府坚持推行“上大压小”的政策，在研究开发、示范及推广三个层次上均取得了较大进展，预计在今后相当长的时间内，

表 9-4　国内部分引进机组调速传动装置的主要参数

装机容量	用户名称	生产厂家	型号	输入转速 /（r/min）	输出转速 /（r/min）	输入功率 / kW
600MW 超临界	河南沁北	日本荏原	GCH104A	1 490	6 056	7 500
600MW 超临界	陕西锦界	日本荏原	GCH105A-55	1 490	4 874	11 000
600MW 超临界	湖南湘潭	日本荏原	GCH104A-50H	1 490	5 540	8 000
660MW 超临界	甘肃崇信	日本荏原	GCH105A-55	1 490	6 335	8 400
600MW 超临界	河南孟津	德国 Voith	R16K500M	1 490	6 460	8 924
600MW 超临界	呼伦贝尔	德国 Voith	R16K400M	1 490	6 190	7 741
1 000MW 超临界	外高桥	德国 Voith	R17K550M	1 475	6 110	12 300
660MW 超临界	内蒙古大阪	德国 Voith	R16K50M	1 490	6 635	6 400
600MW 超临界	河南鹤壁	德国 Voith	R6K450M	1 490	6 200	7 600

我国火电机组将以超超临界、高效超超临界（蒸汽温度大于 700 ℃）机组为发展方向，不断提高机组的运行效率。因此，超临界、超超临界火电机组齿轮调速装置的研发及国产化将具有广阔的发展前景。

9.4.5　齿轮制造装备

齿轮制造装备包括滚齿机、插齿机、铣齿机等各类切齿机床以及磨齿机、热处理设备、齿轮量仪等检测设备及各种刀具、工具等。齿轮制造装备对提高齿轮产品性能、保证产品质量的作用越来越大。我国在机床软件编程技术、在线测量技术、精度保持技术、超精密分度技术、刀具材料及涂层技术等方面与国际先进水平差距较大，造成高级工艺装备长期依赖进口。

精密化、自动化、信息化、柔性化、集成化和复合化是齿轮制造装备发展的趋势。高效率、高精度是现代齿轮制造的必然要求。目前，国内外新型齿轮加工机床在滚齿、插齿、剃齿、磨齿、倒角等方面均可实现数控化，并继续向全数控化、网络化、高速高效化、功能复合化、绿色环保方向发展。

目前，国内齿轮滚（铣）齿能力达到了模数至 70mm，直径至 16m，齿宽至 2.5m，最大质量为 250t；最大进口磨齿机的直径达 6m。普通精度滚齿机可以加工 7 ～ 8 级精度的齿轮。高精度滚齿机的加工精度可以达到 5 ～ 6 级（采用 AAA 滚刀），

分度精度可以达到 3 ～ 4 级。滚齿机分为立式、卧式两类。卧式滚齿机主要用于加工轴齿轮。目前国内卧式滚齿机的最大直径规格为 1.6m；立式滚齿机最大直径规格已达到 16m。普通插齿机的加工精度可以达到 7 级左右，精密插齿机的加工精度可以达到 6 级左右。目前国内插齿机的加工能力达到模数至 20mm，直径至 3m，齿宽至 450mm。梳齿机的加工能力达到模数至 70mm，直径至 12m，齿宽至 1 280mm。

“十一五”期间，我国齿轮行业添置了 430 多台各类 CNC 齿轮测量中心，使我国的齿轮检测水平大大提高，基本达到了国际水平。目前，中模数齿轮测量技术比较成熟，大型和微小齿轮的精密测量技术一直难以解决。

中信重工 16m 数控滚齿机如图 9-1 所示。

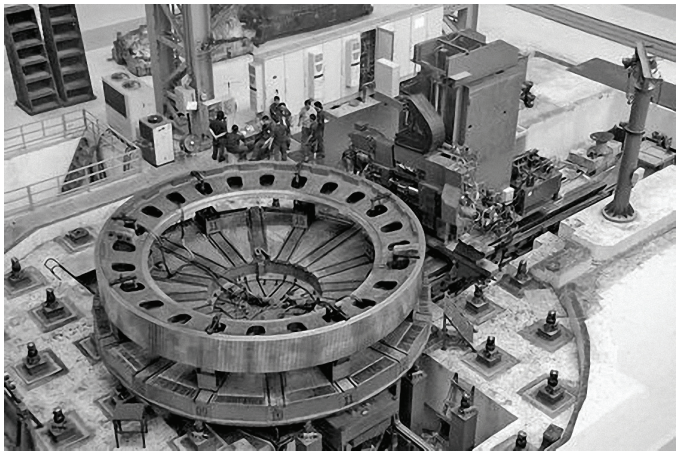


图 9-1　中信重工 16m 数控滚齿机

我国齿轮加工机床的数控化尽管起步晚，但取得了明显的进步。系列六轴四联动数控滚齿机、七轴五联动蜗杆型砂轮磨齿机、七轴六联动弧齿锥齿轮磨齿机等都是近几年来投入批量生产的具有世界先进水平的机床新品。尽管国内齿轮机床行业取得了如此令人瞩目的业绩，但与国外同行业厂家相比，还存在如下问题：

1）滚齿机、插齿机、铣齿机等圆柱齿轮制齿机床在生产效率、制造精度、复合化、大型化等方面与国外先进水平有较大差距；弧齿锥齿轮加工机床差距更大，大型弧齿锥齿轮加工机床刚开发出样机。

2）德国的数控成形磨齿机处于全球领先水平，砂轮自动对刀、自动修整、在线测量及智能纠正等先进技术得到应用，高精度、高效率、功能复合及大型化成为趋势，磨齿精度已稳定达到 3 ～ 5 级。我国数控成形磨齿机经历了从无到有、

从有到精的过程，但在可靠性、加工效率、自动对刀等方面还有较大差距，数控成形磨齿机仍大部分依赖进口。

3）我国高端齿轮感应淬火机床依赖进口；渗碳装备自动化程度低、能耗较高，淬火冷却装备水平较低，难以实现工艺控制和节能环保要求。

4）我国齿轮干切削刀具、高效滚齿刀具、高性能 CBN 刀具和磨齿砂轮几乎全部进口。

5）国外 CNC 齿轮测量中心得到普遍应用，测量精度稳定在 3 级；大型齿轮测量中心和三坐标测量机可测量直径为 6m 的齿轮；齿轮在机测量系统已成为机床的组成部分；齿轮生产线上有机械手自动上下料的齿轮快速分选测量机成为车辆齿轮现场测量的主导设备。国内中模数齿轮测量中心相对成熟，测量精度稳定在 4 级；最大齿轮测量中心可测量直径为 2m 的齿轮；在机测量系统处在研发阶段；车辆齿轮生产线上的齿轮快速分选测量机已投入生产；坐标测量机、小模数齿轮测量仪器和大直径齿轮测量仪器几乎全部进口。

在齿轮机床方面，国际上主要有美国、德国、日本等少数发达国家生产高档齿轮机床，我国的高档齿轮机床市场绝大部分被国外生产商占有。据不完全统计，我国高端机床市场上的国产化占有率不足 30%，国外生产商占据了 70% 的市场份额。而数控机床领域，国产化的占有率更是低于 25%。高档数控齿轮机床的研制仍将是今后国内齿轮机床行业的重要任务。

9.4.6 齿轮相关产品

1. 齿轮泵

齿轮泵是齿轮传动在非动力传动中的一种应用，主要用于工作介质的计量和输送。按啮合方式，齿轮泵可分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵两大类。外啮合齿轮泵轮齿齿廓常见的有渐开线和双圆弧正弦曲线两种，以渐开线最为常见；内啮合齿轮泵齿廓除采用渐开线外，摆线齿形也很常见。外啮合齿轮泵具有结构简单、制造维修方便、成本低等优点，缺点是流量和压力脉动较大、排量不可调及噪声大等。与外啮合齿轮泵相比，内啮合齿轮泵具有体积小、流量脉动小、噪声低等特点，但由于外齿轮齿廓为摆线，加工难度较大。按工作介质分类，齿轮泵又可分为液压齿轮泵、输油齿轮泵、高黏度熔体输送齿轮泵等。

液压齿轮泵的应用最为广泛，输油齿轮泵广泛适用于石化、机械等行业输送各种液体介质。这两种产品的生产厂家较多，中低端产品市场竞争很激烈，高压、高性能齿轮泵仍需要进口。高黏度熔体输送齿轮泵用于输送流动性较差的高黏度

介质，这些工作介质的温度、压力、腐蚀性、润滑性等物理化学性质千差万别，黏度可高达数万厘泊（$1cP=10^{-3}Pa\cdot s$），温度可高达 300℃以上。目前，国内部分企业已经陆续开发出一些中高黏度熔体输送齿轮泵产品，但与国外先进产品相比，在产品种类、性能及质量等方面还有不小差距，这类产品仍基本依赖进口。我国应加大对高黏度熔体输送齿轮泵的研发投入。

2. 非圆齿轮

非圆齿轮是一种能够实现变速比传动的齿轮机构，兼有凸轮和齿轮两者的优点，既能实现凸轮的变速传动，又可实现齿轮的精确高效传动。因此，非圆齿轮不仅可以代替传统的凸轮、连杆等变速比结构，而且具有传统机构不可比拟的优点。非圆齿轮可以认为是圆齿轮的一种变型，即其滚动节圆由圆形变为非圆形，称为节曲线；反之，也可以认为非圆齿轮是圆齿轮的一种普遍情况，而圆齿轮则是非圆齿轮的一种特例，即圆齿轮节曲线的曲率半径为常量。非圆齿轮虽有其独特的优点，但长期以来并没有得到广泛的应用，原因在于非圆齿轮副的设计计算比较复杂、加工困难。近年来，随着 CAD/CAM 技术的不断发展，非圆齿轮在设计、制造中的许多问题正在得到比较满意的解决，非圆齿轮传动技术进一步成熟，推动了非圆齿轮的普及和应用，非圆齿轮正步入一个新的实用化时期。

常见的非圆齿轮主要有椭圆类非圆齿轮，其正在广泛应用于轻工机械、机床和仪器仪表等领域。一阶椭圆齿轮主要应用于轻工机械；二阶椭圆齿轮也称为卵形齿轮，主要用于流量计。一阶椭圆齿轮如图 9-2 所示，二阶椭圆齿轮如图 9-3 所示，非圆齿轮流量计如图 9-4 所示，非圆行星轮系如图 9-5 所示。

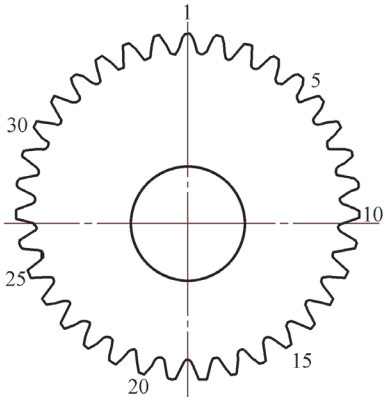


图 9-2　一阶椭圆齿轮

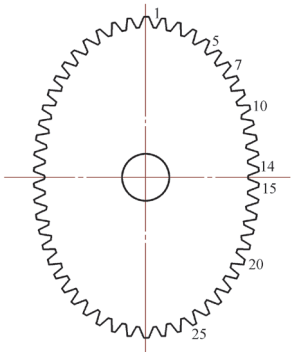


图 9-3　二阶椭圆齿轮

图 9-4　非圆齿轮流量计

图 9-5　非圆行星轮系

非圆齿轮主要有以下优点：

1）非圆齿轮的传递效率高于其他的变速比传动机构，接近于圆柱齿轮。

2）非圆齿轮可根据传动要求进行精确的设计和制造，实现高精密的变速比传动。

3）非圆齿轮和其他机构组合，可以实现摆动、振荡、间歇等各种特殊复杂的运动，而且可以获得较好的性能。

4）非圆齿轮为回转体，传动精确平稳，比传统变速机构更适合于高速传动，且体积小，重量轻，承载能力强。

5）非圆齿轮特别适用于机电一体化的自动控制机械，如汽车发动机输出轴与变速器的柔性非圆连接器。

进入 20 世纪 80 年代，伴随着计算机和数控加工技术的快速发展，非圆齿轮再次成为专家学者关注的焦点。国外学者对非圆齿轮传动技术的研究起步较早，技术手段也较先进。这期间，更是取得了一系列令人瞩目的成果。尤其是日本的香取英男、山崎隆、太甜浩等学者研究并开发了非圆齿轮 CAD/CAM 系统，该系统包括自动设计、自动检测和自动生成数控磁带三个模块，实现了非圆齿轮从设计到加工的自动化，解决了非圆齿轮设计难、计算量大、不易加工的历史难题。日本学者还研制了用数控插齿机加工非圆齿轮的 CAD/CAM 系统，该系统可对任意形状的非圆内齿轮和外齿轮进行加工。由于大批日本学者的关注，日本在非圆齿轮的研究和应用两个方面都走在了世界的前列。在这段时期，德国、法国及美国等国家的学者对非圆齿轮的研究也取得了很多的成果。我国对非圆齿轮传动的研究起步较晚，这一时期，非圆齿轮才在我国得到认识和发展。1973 年李福生等人编译了《非圆齿轮》一书，该书是我国最早、最全面介绍非圆齿轮的著作，对我国非圆齿轮传动技术的发展曾起到了积极的推动作用；1981 年李福生等人又编

著了《非圆齿轮与特种齿轮传动设计》；1996 年吴序堂等编著的《非圆齿轮及非匀速比传动》一书是在总结国内外先进经验和技术的基础上形成的非圆齿轮专著，它全面反映了非圆齿轮的研究成果，广泛介绍了非圆齿轮的各种实际应用，标志着我国在非圆齿轮传动理论，尤其是在应用方面迈上了一个新台阶。此外，郑州机械研究所开发了非圆齿轮 CAD/CAM 系统，可自动生成各类非圆齿轮齿廓，并可将齿廓直接用于线切割等数控加工，解决了非圆齿轮难于加工的问题，该系统已成功用于轻工机械椭圆齿轮和卵形塑料齿轮模具开发等。

目前，我国对非圆齿轮研究的主要基地集中在个别高校或专业科研单位，非圆齿轮的生产和开发机构较少且分散，尚未形成规模。随着非圆齿轮应用领域的扩大，非圆齿轮具有良好的发展前景。

3. 粉末冶金齿轮

粉末冶金（PM）是一种集材料制备与零件成形于一体的先进制造技术，具有节材、高效、节能等特点。与传统机械加工齿轮相比，粉末冶金齿轮具有成本低、生产效率高、节能及节材等优点，适用于大批量、低成本、高强度及高精度齿轮生产。目前，采用粉末冶金制造的齿轮有：直齿轮、斜齿轮（螺旋角小于 35°）、锥齿轮、螺旋齿轮及准双曲面齿轮等。当然，由于成形方式的限制，粉末冶金工艺不适合较大尺寸、大长径比的齿轮等。目前，粉末冶金齿轮的尺寸范围可从几毫米到 300mm，齿宽一般不超过 75mm。粉末冶金齿轮的精度主要由零件形状、压制模具、压制方式、烧结工艺、后续处理和材料成分等因素决定，通常典型产品的精度可达 8 ～ 9 级，烧结态齿轮的表面粗糙度值为 8 ～ 12.5 μm，精整后可达 3 ～ 8 μm。

我国粉末冶金行业存在的问题主要有：

1）企业分散，规模小，经济效益与国外企业比相差很大。

2）同质竞争，相互压价，市场竞争激烈。

3）研发能力落后，产品档次低。

4）工艺及其装备落后。

5）贸易渠道不畅，产品出口少。

我国汽车、摩托车市场潜力巨大。一方面，在中小城市和农村中，摩托车仍然有着广阔的市场；另一方面，家用轿车正在进入千家万户。这些都为与之相配套的粉末冶金齿轮行业的发展提供了契机。从国际发展趋势来看，粉末冶金齿轮由于其价格低廉，符合装备轻量化的发展趋势，也越来越受到各领域整机厂的重

视，粉末冶金齿轮正越来越多地替代传统的铸锻钢材和切削加工齿轮。

高密度、高强度、高精度是粉末冶金齿轮的发展方向。近十年来，国外粉末冶金技术发展迅速，在提高材料性能、生产效率、粉末冶金零件的适用场合等方面做了大量工作，我国在这方面还有不小的差距。

4. 塑料齿轮

塑料齿轮在过去的 50 多年里经历了塑料从新型材料到重要工业材料的整个变化历程。今天它们已经深入到许多不同的应用领域中，如汽车、家用电器、仪器仪表、医疗器械、手表及缝纫机等，与金属齿轮类似，可以起到传递运动和较小动力的作用。塑料齿轮传动具有噪声低、吸振、自润滑等特性，而且采用模塑成型具有生产效率高、成本低、质量小和形状设计灵活等优点。随着新材料、新工艺的不断出现，塑料齿轮传动的应用领域正在不断扩大，成为齿轮制造业中开发应用最快，最具有活力的产业之一。自润滑塑料齿轮可用于食品机械等无法采用润滑剂的场合，不但节省了润滑剂的消耗，降低了维修成本，也不必担心会对工作环境造成污染。

汽车工业已经成为塑料齿轮发展最快的领域之一。塑料动力齿轮应用的进一步拓宽，在一些大尺寸要求的应用领域，塑料齿轮正逐步替代金属齿轮，如洗衣机的塑料齿轮传动装置、通风和空调系统的减振驱动器、小型航空器上用的动力螺旋器、军用领域中的螺旋仪以及操纵装置等。

早期的塑料齿轮为传输功率不超过 0.25 马力 (1 马力 =735.5W) 的直齿轮，目前的塑料齿轮可以做成不同的结构类型，传输功率一般不超过 2 马力，直径不超过 4 ～ 6in(1in=0.0254m)。预测不久的将来，塑料齿轮成型直径可以达到 18in，传输功率可以提高到 10 马力以上。

塑料齿轮一般不需要二次加工，因此相对于机械加工的金属齿轮，成本可降低 50% ～ 90%。塑料齿轮比金属齿轮轻、惰性好，可用于金属齿轮难以适用的易腐蚀等环境中，例如水表和化工设备中。此外，与金属齿轮相比，塑料齿轮可以通过变形来吸收冲击载荷，能较好地分散由于制造、安装误差引起的负荷不均问题。

目前，随着新的高性能、低成本工程塑料的不断出现，注射设备性能和注射工艺的不断提高，塑料齿轮正向着中小动力传动领域扩展。由于我国在高精度、高强度塑料齿轮方面的研发基础比较薄弱，与欧美、日本等发达国家相比还有较大的差距；又由于塑料齿轮工业涉及注射材料、注射模具、注射设备、注射工艺

等学科，塑料齿轮的发展是一项难度较大的系统工程，我国塑料齿轮工业的快速发展还需要政府、行业组织、科研院所和骨干企业等的共同努力。

5. 齿轮油

齿轮用油包括齿轮加工机床用油（液压油、齿轮油）、加工过程所用金属加工液（切削液、乳化液、淬火油等）及齿轮产品用油（变速箱油、工业齿轮油等）。

齿轮润滑油按其用途可分为工业齿轮油和车辆齿轮油两大类。其产品的应用包括两个要素：黏度等级和质量等级。工业齿轮油和车辆齿轮油的黏度等级和质量等级分属两个不同的体系，表示方法不同。

车辆齿轮油主要用于各种车辆的变速器、后桥齿轮箱和转向机构的润滑。车辆齿轮的工作特点是：

1）啮合部位承受的压力很高。

2）工作温度高，一般工业齿轮的工作温度为 10 ～ 80℃，在苛刻条件下短时间内可达到 90 ～ 100℃。但准双曲面齿轮的工作温度可达到 120 ～ 180℃。

3）滑动速度大，冲击载荷大，润滑条件苛刻。因此，对车辆齿轮所用齿轮油提出了更高的要求。

我国参照 SAE 黏度分类，制定了驱动桥和手动变速器齿轮润滑油黏度分类，见表 9-5。

表 9-5　驱动桥和手动变速器齿轮润滑油黏度分类（GB/T 7631.7—1995）

黏度牌号	黏度为 150Pa·s 时最高温度 /℃	运动黏度（100℃）/$mm^2 \cdot s^{-1}$	
		最小	最大
70W	－55	4.1	—
75W	－40	4.1	—
80W	－26	7.0	—
85W	－12	11.0	—
90	—	13.5	小于 24.0
140	—	24.0	小于 41.0
250	—	41.0	

美国石油学会（API）把车辆齿轮油按不同质量水平分成五个等级，见表 9-6。其中 GL-5 级车辆齿轮油符合美军规格 MIL-L-2105D。

表 9-6　API 汽车变速器和驱动桥润滑剂使用分类

分类	使用说明
GL-1	低齿面压力、低滑动速度下运行的汽车弧齿锥齿轮的驱动桥以及各种手动传动箱规定用 GL-1 齿轮油，直馏矿油能满足这类情况的要求。可以加入抗氧剂、缓蚀剂和消泡剂改善其性能
GL-2	适用于汽车蜗轮后桥齿轮，由于其负荷温度和滑动变速的状况，使得 GL-1 齿轮油不能满足要求的蜗轮齿轮规定用 GL-2 的齿轮油，这种油通常都加有脂肪添加剂
GL-3	适用于速度和负荷比较苛刻的汽车手动传动箱和弧齿锥齿轮的驱动桥规定用 GL-3 类的油，这种油耐负荷能力比 GL-1 和 GL-2 要高，但比 GL-4 要低
GL-4	在低速高转矩、高速低转矩工况下的各种齿轮，特别是客车和其他车辆用的准双曲面齿轮，规定用 GL-4 的油。要求油品抗擦伤性能等于或优于 CRC 参考油 RGO-105，并要通过试验程序，其性能水平达到 1972 年 4 月起用的 ASTMSTP-512 规定的要求
GL-5	在高速冲击负荷、高速低转矩、低速高转矩下操作的各种齿轮，特别是客车和其他车辆的准双曲面齿轮规定用 GL-5 油。要求其抗擦伤性能等于或优于 CRC 参考油 RGO-110，并要通过试验程序，其性能达到 1972 年 4 月起用的 ASTMSTP-512 规定的要求

汽车后桥一般均使用 GL-5 水平车辆齿轮油。手动变速器则主要使用 GL-4 或 GL-5 水平的车辆齿轮油。

在车辆齿轮油使用分类中，同时还有一个美军军标分类。MIL-L-2105A 始于 20 世纪 40 年代，大体相当于 GL-3。MIL-L-2105 始于 20 世纪 50 年代，相当于 GL-4。MIL-L-2105B 出现于 20 世纪 60 年代初，大体相当于 GL-5，但现已废除。其后于 20 世纪 70 年代初和 80 年代中，先后出现 MIL-L-2105C 和 MIL-L-2105D，均相当于 GL-5 水平。其中 MIL-L-2105D 为可以适用于利用再生润滑油作基础油的 GL-5 齿轮油。

进入 20 世纪 90 年代，由于大功率长距离货运汽车对 GL-5 车辆齿轮油的热氧化安定性和抗擦伤和剥落等抗磨损性的特殊要求，先后提出了 MT-1 和 PG-2 两档水平的车辆齿轮油。我国参照 API 分类，制定了车辆齿轮油的详细分类，见表

9-7。我国车辆齿轮油详细分类与 API 齿轮油使用分类的对应关系见表 9-8。

表 9-7　我国车辆齿轮油分类（GB/T 7631.7—1995）

代号	组成特性和使用说明	使用范围
CLC	精制矿油加抗氧剂、缓蚀剂、抗泡剂和少量极压剂等制成，适用于中等速度和负荷比较苛刻的手动变速器和弧齿锥齿轮的驱动桥	手动变速器、弧齿锥齿轮的驱动桥
CLD	精制矿油加抗氧剂、缓蚀剂、抗泡剂和极压剂等制成，适用于在低速高转矩、高速低转矩下操作的各种齿轮，特别是客车和其他各种车辆用的准双曲面齿轮	手动变速器、弧齿锥齿轮和使用条件不太苛刻的准双曲面齿轮的驱动桥
CLE	精制矿油加抗氧剂、缓蚀剂、抗泡剂和极压剂等制成，适用于在高速冲击负荷，高速低转矩和低速高速转矩下操作的各种齿轮，特别是客车和其他各种车辆的准双曲面齿轮	操作条件缓和或苛刻的准双曲面齿轮及其他各种齿轮的驱动桥，也可用于手动变速器

表 9-8　我国车辆齿轮油分类与 API 使用分类的对应关系

我国车辆齿轮油的详细分类	对应 API 的使用分类
CLC	GL-3
CLD	GL-4
CLE	GL-5

国外使用较多的是 GL-3、GL-4 和 GL-5 类车辆齿轮油。GL-1、GL-2 等质量较低的油品，可用性能相当的工业齿轮油来代替。我国国家标准已取消与其相对应的 CLA、CLB 两类油。

我国的工业齿轮油根据其用途可分为：工业闭式齿轮油、蜗杆蜗轮油、工业开式齿轮油，高速齿轮传动通常采用汽轮机油。我国工业齿轮油分类是参照 ISO 6743—6—1990 标准及 AGMA 和美国钢铁公司 224 等标准制定的。

我国工业齿轮油的黏度分级采用以 40℃运动黏度为基础的 GB/T 3141—1994

《工业液体润滑剂 ISO 黏度分类》标准。此分类法与国际通用的 ISO3448《工业润滑油黏度分类法》相当。对于工业用齿轮油，按其 40℃运动黏度的中心值分为 N68、N100、N150、N220、N320、N460、N680 共七个牌号。表 9-9 列出了与相应黏度等级的对应关系，美国齿轮制造业协会（AGMA）的工业齿轮油分类与我国工业齿轮油的对照见表 9-10。

表 9-9 工业齿轮油的黏度等级

GB/T 3141—1994 黏度等级	40℃运动黏度 / $mm^2 \cdot s^{-1}$	相当于旧牌号（50℃黏度）	AGMA① 黏度等级	ISO 黏度等级
N68	61.2 ～ 74.8	50	2EP	VG68
N100	90 ～ 100	70	3EP	VG100
N150	135 ～ 165	90	4EP	VG150
N220	198 ～ 242	120	5EP	VG220
N320	288 ～ 352	200	6EP	VG320
N460	414 ～ 506	250	7EP	VG460
N680	612 ～ 748	350	8EP	VG680

① AGMA 9EP 相当 ISO 黏度 1 500mm^2/s，10EP、11EP、12EP、13EP 黏度分别为 3200mm^2/s、4600mm^2/s、6800mm^2/s、32 000mm^2/s，13EP 100℃的运动黏度为 182 ～ 214 mm^2/s，$14R^0$ 100℃的运动黏度为 429 ～ 858mm^2/s；$15R^0$ 100℃的运动黏度为 858 ～ 1715 mm^2/s。

表 9-10 美国齿轮制造业协会（AGMA）的工业齿轮油分类与我国工业齿轮油的对照

AGMA 分类	组成	我国的分类	说明
抗氧缓蚀型矿物油	矿物油 + 缓蚀剂 + 抗氧化剂	抗氧缓蚀型工业齿轮油	使用温度为 -20 ～ 120℃
极压齿轮油	矿物油 + 极压抗磨剂 + 其他添加剂	中负荷（中极压）工业齿轮油	加有硫磷型极压抗磨剂、缓蚀剂、抗氧化剂、抗泡剂、减摩剂，使用温度为 -20 ～ 120℃

（续）

AGMA 分类	组成	我国的分类	说明
复合油	矿物油 +3% ～ 10% 脂肪油或合成脂肪油	蜗杆蜗轮油	油性较好，一般用于蜗杆传动
合成油	合成烃、羧酸酯、聚二醇醚、聚苯醚、硅油和氟油等	合成油	其优点是热氧化安定性好，黏度指数高，凝点低，抗磨性好。用于在特殊运转条件下工作的封闭式齿轮和蜗杆蜗轮，工作温度为 -73 ～ 260℃
开式工业齿轮油	加有黏附剂	开式齿轮油	适用于开式齿轮，工作温度为 5 ～ 120℃
润滑脂	在润滑油中加入稠化剂（皂类）稠化而制成凝胶状物质	润滑脂	适用于低速或间断操作的轻载荷零件，使用寿命长，工作温度为 -20 ～ 120℃

齿轮油可以看做齿轮装置上一个重要的“零件”，随着风电齿轮箱等重要齿轮产品市场的扩大和运行经验的丰富，涉及齿轮产品全寿命周期的设计、制造、装配、运行维护人员对润滑的认识得到了大大提高，对润滑油的使用已经从不注意、不在意逐步转变为认真设计、合理选择、科学使用上来，对保证设备性能、延长设备寿命起到了重要作用。但总体上讲，齿轮产品制造业和使用人员对润滑油的选择、油品品质、更换等认识与世界先进水平仍有不小差距。此外，高档齿轮用油仍需要大量进口。

提高齿轮产业为战略性新兴产业配套服务能力的根本就是提高整个齿轮行业的创新能力，提高齿轮材料、齿轮机床、刀具、砂轮及油品等整个产业链条的每个环节的水平和能力。总体上讲，我国齿轮工业存在着中低端产品产能过剩，高端产品产能不足等问题。我国七大战略性新兴产业需求的均为高端齿轮产品。因

此，解决我国重大工程、重大装备中所需的齿轮装备的国产化问题是“十二五”期间我国齿轮工业的重要任务。工业和信息化部发布的《机械通用零部件行业“十二五”发展规划》中列出了 5 大类 11 种“十二五”期间齿轮行业重点发展的产品，见表 9-11。

表 9-11 “十二五”期间齿轮行业重点发展的重大工程、重大装备所需零部件产品

类别	序号	产品名称	主要技术指标	关键技术	市场需求预测
汽车关键零部件	1	满足节能环保和新能源汽车要求的自动变速器总成	AMT 与 DCT：比传统机械变速器每百公里省油 5% ～ 10%，AMT 换档响应时间小于等于 0.65s，DCT 实现无动力中断换档，换档平顺性、产品可靠性和总成寿命达到国际先进水平。 CVT（EM-CVT、HN-CVT）：最高传动效率达到 94%，产品寿命大于 25 万 km。 6 ～ 8AT：6 ～ 8 个前进档，输入转矩为 180 ～ 320N·m，产品可靠性和总成寿命达到国际先进水平	TCU 与 ECU 通信协议开发，TCU 硬件与底层驱动程序的模块化与标准化，我国路况典型载荷谱研究与模拟载荷谱建立，传感器与执行机构共性零部件研发与产业化	“十二五”期间，我国汽车自动变速器平均增速将明显快于整车的平均增速，年均增长率约为 20%。到 2015 年末，我国汽车自动变速器的市场份额将上升到 50% 左右。届时年需求量将达约 700 万台，其中 AT 约占 50%，350 万台；CVT 约占 14%，98 万台；DCT 约占 21%，147 万台；AMT 约占 15%，105 万台。若 AMT 能在换档品质和换档动力中断方面取得更好的突破，则其市场份额还会大大提高
	2	节能环保自动变速器关键零部件	行星排：适用于乘用车的国际先进水平的行星传动。模数为 1.5mm，齿宽为 10 ～ 20mm，精度 DIN7 级（内齿）、DIN6 级（外齿），综合重合度大于等于 3，传动比为 0.6 ～ 2.7，行星架动平衡小于等于 16g·mm，噪声小于等于 65dB，传动效率大于等于 98% 金属带：带环各层受力不均匀度小于等于 5%，带环拉应力降低 20% ～ 27%，轴向压力减少 20%，金属带传动效率提高 1.2%，每百公里综合油耗降低 5%，寿命大于 25 万 km 锥轮锥盘：锥面角度公差小于等于 40″，两轴径同轴度误差小于等于	行星排设计、制造、装配及试验技术，完全自主知识产权曲母线钢带和活齿钢带发明专利及其制造与试验技术，锥轮锥盘设计与制造技术，TCU 软件开发、硬件制造及其试验技术，变矩器设计、制造及试验技术，电磁阀设计、制造及试验技术	节能环保自动变速器关键零部件市场随变速器总成的增长而增长，市场前景十分广阔

（续）

类别	序号	产品名称	主要技术指标	关键技术	市场需求预测
汽车关键零部件	2	节能环保自动变速器关键零部件	0.008mm，球道跳动小于等于0.012mm，寿命大于25万km TCU：电磁兼容性能达到国际先进水平，寿命大于等于6 000h 变矩器：变矩比为1.7～2.3，能容为5.0～200N·m，最大效率大于等于85% 电磁阀：比例流量阀额定电压为12V，额定压力为10MPa，输出流量为0～9L/min，最大电流为2.4A，滞环为8%，响应时间小于10ms；比例压力阀额定电压为12V，额定压力为10MPa，输出压力为0～8MPa，滞环为5%，响应时间小于10ms；高速开关阀额定电压为12V，额定压力为1.5MPa，流量为2.3L/min，响应时间小于5ms	行星排设计、制造、装配及试验技术，完全自主知识产权曲母线钢带和活齿钢带发明专利及其制造与试验技术，锥轮锥盘设计与制造技术，TCU软件开发、硬件制造及其试验技术，变矩器设计、制造及试验技术，电磁阀设计、制造及试验技术	节能环保自动变速器关键零部件市场随变速器总成的增长而增长，市场前景十分广阔
	3	高精度、低噪声、长寿命大中型弧齿锥齿轮	精度达到AGMA11-13，噪声为70～75dB，疲劳寿命大于等于100万次，采用精锻近净成形技术生产，生产效率提高70%，综合成本降低20%，材料利用率提高25%，达到世界先进水平	弧齿锥齿轮研齿技术、磨齿技术及精密锻造近净成形技术	高精度、低噪声、长寿命大中型弧齿锥齿轮在大中型高档豪华客车和城市轨道交通领域市场前景广阔，“十二五”期间市场需求约15亿元
	4	高精特汽车齿轮	高性能、长寿命、中小模数、复杂异形齿轮零件，适合绿色高效、超大批量生产，精度达4～5级，材料利用率提高20%～30%	近净成形技术、精密热处理技术	“十二五”期间年需求约8亿元

（续）

类别	序号	产品名称	主要技术指标	关键技术	市场需求预测
清洁高效发电设备	5	兆瓦级风电齿轮箱	功率大于等于2.5MW，噪声小于等于95dB，机械效率大于等于97%，寿命大于等于20年	小夹角齿轮传动设计技术、基于风电载荷谱的动态优化设计技术、风电齿轮箱功率分流技术、高可靠性强化试验技术、高速多级传动润滑技术	国内市场对兆瓦级风力发电机组需求十分迫切。国家规划2020年风电装机容量要达到3 000万kW。2020年之前，我国每年至少装机约190万kW，风电齿轮箱产值约120亿元。近海风电场建设已被列入国家可再生能源规划，预计到2020年，我国海上风电将达到100万kW
	6	火电立磨减速机	功率为150～1 000kW，输入转速为990r/min，传递转矩为27.7～329kN·m，垂直静载荷为800～2 500kN，垂直动载荷为2 000～6 500kN	推力轴承高承载能力下的可靠性技术研究，润滑冷却系统、控制系统技术研究，高可靠性的密封、防渗漏技术研究，高功率密度、高承载能力下的轻量化技术研究。	受国家“电力中长期发展规划”政策影响，电力行业发展迅猛，至2010年年底，全国装机容量将达到8.6亿kW，年平均新增6 500万kW，国家的能源结构在相当长的时间段内主要还是依靠火电，所需火电按70%计算，燃煤机组需新增4 225万kW，市场容量大
	7	核电循环水泵齿轮箱	承受泵推力型齿轮箱：功率为6 500kW，输入转速为745r/min，传递转矩为456kN·m，承受泵的最大推力为1 438kN，承受泵的最大径向力为37kN 不承受泵推力型齿轮箱：功率为6 500kW，输入转速为994r/min，传递转矩为585kN·m，承受齿轮箱行星包自重为15kN	人字齿行星传动均载系统的技术研究，齿轮箱整机轴承配置形式技术研究，其中包括安装、维护、拆卸方便的轴向、径向组合滑动轴承的技术研究，持久可靠的密封系统技术研究，安全、环保、节能、可靠、智能的润滑系统技术研究	根据国家核电中长期规划，到2020年，我国将开工建设40座以上百万千瓦级核电机组，届时在役运行的核电总规模相当于目前的20个大亚湾核电站。核电站三回路所需要的循环水泵齿轮箱大约为400台（套），每年的配套产值都在1.5亿元以上

（续）

类别	序号	产品名称	主要技术指标	关键技术	市场需求预测
轨道交通	8	高速列车齿轮传动装置	时速大于等于200km高速列车专用齿轮箱：功率为1 800kW，中心距为362mm，输入转矩为3 500N·m，输入转速为2 255～6 000r/min，传动比为7.69	高速重载齿轮高功率密度设计技术、齿轮的齿面强化/涂层技术、高速齿轮传动的热分析技术和润滑技术	到2012年，每年需生产高速动车组300列，合计齿轮箱4 800套，按每套15万元计，产值可达7.2亿元
大型煤机	9	大功率采煤机齿轮箱	采高为2.5～4.5m，截深为800～1 000 mm，截割功率与供电电压为2×750kW、3 300V，生产能力大于等于3 000t/h，摇臂大修周期为5Mt，整机大修周期为10Mt，设计寿命为20 000h	低速重载复杂工况与恶劣使用环境下齿轮长寿命和高可靠性动态仿真设计与制造技术、润滑与冷却技术、试验技术	我国煤炭产量占世界总产量的42%左右，产量增量占世界的80%以上。根据有关权威机构预测，到2020年，我国煤炭需求量将达到38亿t左右，“十二五”期间自主品牌的大功率高可靠性的采煤机齿轮减速箱具有广阔的市场前景
	10	大功率掘进机齿轮传动装置	定位最大可掘高度为5m，定位最大可掘宽度为6m，截割压力为80～100MPa，截割电动机功率为300～360kW，总功率为550kW，设计寿命为15 000h		
新兴产业	11	污水处理装置用高速齿轮箱	功率为100～2 000kW，输入转速为2 980～29 700r/min，增速比为3.22	齿轮箱结构优化技术，齿轮渗碳淬火、磨齿技术，推力盘渗氮处理技术，齿轮修形技术	城镇污水集中处理厂建设是我国一项紧迫、艰巨、长期的任务，污水处理装置用齿轮箱市场前景十分广阔

工业和信息化部发布的《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》中列出了20种标志性机械基础件，其中第（6）～（8）项为齿轮类产品。

（1）2MW以上风力发电机组轴承　开发为2MW以上风电机组配套的工作寿命20年、可靠度大于等于99%的增速器轴承和主轴轴承。

（2）长寿命、高可靠性轿车轴承和重型载货汽车轴承　开发使用寿命25万km以上，可靠度大于等于99%的轿车轴承和使用寿命50万km以上，可靠度大

于等于 99%的重型载货汽车轴承。

（3） 高速动车组轴承 开发时速为 200 ～ 300km，使用寿命为 200 万 km，可靠度大于等于 99% 的高速动车组轴承。

（4）大型薄板冷热连轧及涂镀层生产线轴承 开发精度 P4 级、P5 级，工作寿命为轧钢 120 万 t，可靠度为 99% 的轧机轴承。

（5）高速、高精数控机床轴承及电主轴 $d_m n$=2.5×10^{6}mm·r/min，精度为 P4、P2 级，轴承 16 000h 精度稳定使用，电主轴 2 000h 精度稳定使用。

（6）2MW 以上风力发电机组增速器 开发功率大于等于 2MW，噪声小于等于 95dB，机械效率大于等于 97%，寿命大于等于 20 年的风电增速器。

（7）高速列车齿轮传动装置 开发列车时速大于等于 200km，功率为 1 800kW，输入转矩为 3 500N·m，输入转速为 2 255 ～ 6 000r/min，传动比大于等于 7 的高速列车齿轮。

（8）节能环保自动变速器 开发百公里综合油耗降低 5% ～ 10%，寿命 30 万 km 的自动变速器，包括行星排、金属带、锥轮锥盘、电磁阀、TCU、变矩器等。

（9）舰船用大型齿轮传动装置 开发功率为 3 ～ 5MW，噪声小于等于 90db、转速大于等于 3 000r/min 的船用齿轮传动装置。

（10）工程机械用高压液压元件 开发工作压力为 35MPa 及以上高压柱塞泵 / 马达、液压电子控制器。

（11）高压液压阀 开发工作压力大于等于 31.5MPa，流量大于等于 100L/min 的高压液压阀，含流量共享系统、负荷传感系统、总线控制先导系统。

（12）农用机械用静液压驱动装置（HST） 开发工作压力大于等于 25MPa，排量为 18 ～ 45mL/r 的农用机械用静液压驱动装置。

（13）轨道交通用气动元件 开发工作压力为 3 ～ 10bar（1bar=10^{5}Pa），环境温度为 -40 ～ +80℃的气缸、气动阀、气源处理元件，以及气管、接头等配套气动元件。

（14）大型风力发电关键密封件 开发 7 ～ 10 年不发生龟裂，在速度为 1m/s、油脂润滑状态下，运行寿命达 7 ～ 10 年，适用温度范围为 -45 ～ +100℃的大型风力发电密封件。

（15）干气式机械密封装置 开发工作压力为 20MPa 及以上的干气式机械密封装置。

（16）汽车发动机正时链与自动变速器的哈瓦高速齿形链 开发最高转速大于等于 6 000r/min，寿命为 25 万 km，抗拉载荷大于等于 14kN，1 200h 试验伸长率小于等于 1%，硬度达到 53HRC，硬度散差为 ±0.5HRC，清洁度小于等于 20mg/kg，可靠性大于等于 99.9% 的链条。

（17）疲劳寿命 500 万次以上汽车发动机紧固件　开发 PPM 小于等于 60，疲劳寿命大于等于 500 万次的紧固件。

（18）汽车和工程机械用高端悬架弹簧、气门弹簧和稳定杆　开发工作应力大于 1 200MPa，疲劳寿命大于 100 万次的气门弹簧、悬架弹簧和稳定杆。

（19）C 级轿车整体车身成形模具　实现车门、前翼子板表面形状精度为 0.08 ～ 0.05mm，结构面精度为 ±0.05mm，多副模具总成尺寸匹配与控制（含回弹控制）内轮廓精度在 ±0.7mm 以内、外轮廓精度在 ±1.0mm 以内、总成件之间对接精度在 ±0.5mm 以内，车身总体尺寸精度达到或接近 2mm。

（20）高光无痕、叠层旋转大型塑料模具　开发宽 1 200 mm及以上、模具精度 u 级、模具型腔 A0-A1 级镜面光洁度，模具总装精度小于等于 0.02 的高光无痕、模内装饰技术、超大超薄 LED 大型镜面、复杂高效精密汽车发动机塑料进气歧管的精密注射模具；加热恒温浇注系统总误差小于 0.02 mm，加热恒温 ±1℃，H7/g6 精密滑动配合，实现注射双效生产叠层模具。

9.5　我国齿轮行业创新平台建设

提高齿轮行业为战略性新兴产业配套能力的核心问题是解决齿轮行业创新能力不强、创新平台过少且辐射力不强、高端才人缺乏等问题。这些问题长期得不到有效解决和创新平台建设不足有很大的关系。据不完全统计，目前，我国齿轮行业有关行业组织、机构及创新平台见表 9-12（详细介绍参见附录 H），可以看出，多数机构和平台大多是在 1990 年前成立或获批筹建的。

表 9-12　齿轮行业部分行业组织、机构及创新平台

序号	名称	依托单位	成立时间
1	机械传动国家重点实验室	重庆大学	1991 年
2	国家齿轮产品质量监督检验中心	郑州机械研究所	1988 年
3	全国齿轮标准化技术委员会	郑州机械研究所	1985 年
4	齿轮行业生产力促进中心	郑州机械研究所	1998 年
5	全国齿轮行业技术情报总网	郑州机械研究所	1984 年
6	中国机械工程学会机械传动分会	郑州机械研究所	1986 年①
7	机械工业齿轮传动工程实验室	郑州机械研究所	2010 年
8	机械工业齿轮传动工程研究中心	郑州机械研究所	2010 年

① 中国机械工程学会机械传动与设计分会成立于 1960 年，1986 分别成立机械传动分会和机械设计分会。

20 世纪 80—90 年代是我国齿轮行业理论研究、产品开发及平台建设的黄金发展时期，在啮合理论、强度分析计算、试验技术以及制造技术、新产品开发、平台建设、学术活动、人员培训等方面都取得了较快的发展。仅中国机械工程学会机械传动分会齿轮专业委员会下就有强度学组、锥齿轮学组、蜗杆蜗轮学组、摩擦润滑及油品学组等众多学组，这些学组每年都定期、不定期举行全国性的学术会议，进行新技术的研讨和交流，国家也投入了一定的经费用于硬齿面等新技术的引进、消化和重点材料的极限应力测定等基础研究。重庆大学、哈尔滨工业大学、东北大学、大连理工大学、北京科技大学、天津大学、太原理工大学、西安交通大学、西北工业大学、长安大学及河南科技大学等高校都有专门的齿轮研究团队从事圆弧齿轮、蜗杆蜗轮、锥齿轮、齿轮强度、齿轮试验、啮合理论、齿轮制造、齿轮刀具、齿轮动力学等研究工作。随着计划经济向市场经济的转变，原有的技术创新体制不复存在，全行业性的技术活动基本处于停滞状态。其主要原因有：

1）专业科研院所的转制改变了研究所的定位，大大削弱了其行业共性技术的研发和辐射能力。

2）社会对包括齿轮在内的基础件的认识存在偏差，轻视了对齿轮传动基础理论研究和产品开发工作，经费投入严重不足。

3）高等院校缺乏研究经费支撑，随着老一代齿轮传动学术带头人的退休，新一代不再有兴趣从事齿轮技术研究工作，原有的学术团队解散。

4）企业疲于应付市场价格战，导致企业利润空间不大，难以对研发投入太多，更谈不上开展基础研究工作。

5）2000 年前后，部分骨干国有企业技术人员流失严重，从骨干企业流向民营企业，分散了企业的技术力量和优势。

6）行业利润水平较低，待遇较差，人才培养周期较长，缺乏对年轻人的吸引力，导致技术人员、技术工人严重不足。

近年来，随着我国经济的快速发展，人们逐渐认识到我国的齿轮、轴承、液压件、气动元件、密封件及紧固件等基础零部件与国外先进水平的差距较大，政府逐步加大了相应的科研投入和政策支持，在新产品开发等方面有了一定的好转。但总体而言，我国齿轮行业的技术和产品创新能力不强，缺乏对高端产品核心技术的掌握，创新平台的数量不足、能力不强、辐射力不够，创新体系和人才培养体系需要恢复和完善。产品创新方面要继续推进以企业为主体，产学研用相结合的产业创新体系建设。鼓励企业与科研院所、高等院校、主机制造企业联合建立

研发机构、产业技术联盟等技术创新组织，重点支持国家创新型企业试点、国家技术创新示范企业、国家认定的企业技术中心等创新能力建设和国家重点实验室、国家工程实验室、国家工程研究中心及国家工程技术研究中心等公共研发平台建设。支持行业生产力促进中心等社会化、专业性科技服务机构为企业特别是中小企业服务，促进其技术水平的提高和全行业健康发展。要加快建立多层次的适合我国齿轮工业发展的人才培养体系，培养一批具有国际视野的专家和技术带头人，引进、培养和造就一批优秀的从事齿轮传动基础理论研究和产品开发的创新团队。建立企校、企所联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型、复合型和技能型人才的培养。要重视职业教育工作，通过建设行业职业技术培训中心、开展技能等级评定和职业技能大赛等方式，大力培养专业技能人才。

要充分发挥好现有专业研究所、国家重点实验室、行业工程实验室和工程研究中心及骨干企业技术中心的作用，加快齿轮行业技术中心和公共服务平台的建设，增强整个行业的持续发展能力。

（1）建设公共研发平台　进一步发挥好转制院所等已有平台为行业的服务功能，充实健全齿轮行业公共研究机构。充分利用现有优势资源，组建齿轮行业国家级公共研发平台，为行业提供关键技术、共性技术的研发支持，并实现成果共享。

（2）完善试验检测公共服务平台　加大国家齿轮产品质量监督检验中心的投入，增强现有试验检测能力，以公正开放、独立运作为保障，发挥其第三方公共试验检测平台的作用，开展产品形式试验、可靠性和寿命测试试验、产品质量检测检验、基础材料实验与检验，形成专业化的检测、试验和服务能力。

（3）构建产需对接平台　深化齿轮生产企业与主机企业的战略合作关系，依托行业组织、公共平台等，建设跨行业、跨地区的产需对接平台，促使齿轮生产企业与主机企业形成利益共享、风险互担的供应链，提高齿轮行业新产品开发的速度，提升齿轮产业发展的效率与效益。

第 10 章

我国齿轮产业的发展措施

目前，国外齿轮产业正在进一步向缩短产品开发周期，提高技术含量和通用化，降低成本，性能控制智能化等方向发展，其管理科学化、制造自动化、市场全球化水平很高，并广泛采用 CAD/CAM 等计算机技术。国外齿轮产业经过重组、调整、优化等过程，已经形成了实力雄厚、技术水平先进、产品质量优异的大型企业集团，并率先实行同步开发、系统供货及模块化生产，成为齿轮产业发展及齿轮装配件全球化采购的主要受益者。相比之下，我国齿轮产业还有较大差距，还不完全具备为汽车配套汽车齿轮、现代工业配套工业齿轮等供货的能力，参与国际竞争的能力很弱；在科技实力、技术水平、产品质量、销售业绩、企业经营规模和全员劳动生产率等诸多方面存在较大差距。我国加入 WTO 后，国际齿轮集团企业正在大举进军并蚕食我国的齿轮市场。因此不管是从长远来看，还是针对目前国内齿轮工业现状，我们都必须根据国际齿轮工业的发展趋势，充分吸收国外先进经验，结合我国行业和企业实际情况，采取有力措施提高自身创新能力，加快产业结构调整，推动产业升级，强化品牌观念，完善标准体系，优化企业管理，加快人才培养，开拓国内市场并积极参与国际竞争，尽快提高我国齿轮产业的国际竞争力。

10.1 提高创新能力

积极构建以市场为导向、以企业为主体、产学研用相结合的产业技术创新联盟，集中优势力量攻克阶段性行业关键共性技术和难题，政府、企业要切实加大科技投资力度，聚集优势科技力量，强化高新技术的应用、关键技术的攻关及新产品的开发，构建高效的研究开发体系，形成自主开发国际水平产品的能力，从而从根本上改变我国齿轮工业技术落后、产品质量不高、进出口逆差逐年增大的窘境，实现齿轮产业自主发展、健康发展的目标。为此，要进一步大力推进行业技术创新，促进企业成为新技术应用、新产品开发的主体，激励企业走出去，广泛开展多层次、多形式的国际科技合作和交流，重点加强先进产品开发技术、试验技术、生产制造技术和高新技术领域的科技合作与交流。创新包括原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新三个方面。

基于原始创新的能力提高，是指企业通过对主要技术的不断自主研发，提高

自身技术能力。一般而言，具有国际水平的技术先发优势，拥有高水平的科技人员、先进的生产设备、先进的信息收集和处理能力以及高水平的组织能力的企业才具有这种能力。

基于集成创新的能力提高，是指企业通过与国内外企业的技术合作，或与高校、研究机构的技术合作，学习先进的技术，对先进技术进行消化吸收，从而实现自主技术创新能力的提升。根据技术合作程度的不同可分为合作生产、合作设计、合作研究。由此，技术创新能力提高过程也可分为三种模式：基于合作生产的技术创新能力提升模式，基于合作设计的技术创新能力提升模式，基于合作研究的技术创新能力提升模式。由于技术合作的对象不一样，技术合作的特点也不尽相同。

基于技术引进消化吸收再创新的能力提高，是指企业技术创新能力的增长是建立在引进国外先进技术的基础上，通过不断消化吸收先进的技术知识，结合自身的研究开发，使企业技术创新能力提高到自主技术创新和持续自主技术创新的水平。

10.1.1 完善政策环境

企业技术创新不仅是一种经济活动，同时也表现出很强的社会性。技术创新是一种创造性的过程，一般面临着高额的成本支出和较大的风险。因此，政府的政策激励是技术创新活动不可缺少的环节。政府的创新政策的目标应当是支持创新者，减少创新障碍，降低创新风险，并营造有利于创新的制度和社会氛围。政府的技术创新激励政策是一种组合政策。创新激励政策最根本的特征在于将分离的、由不同部门制定和实施的各类政策整合起来，形成一个合力，发挥出整体效益。进一步说，创新激励政策实施过程是一个将多种政策进行匹配的过程。创新激励政策的组合特征取决于各项政策之间的匹配程度，决定了政策效用的水平。匹配性是衡量创新激励政策质量的基点。这种匹配体现在以下几方面：科技教育政策与产业政策的匹配，长期政策与中短期政策的匹配，创新供给刺激与需求刺激政策的匹配，市场调控政策与行政干预政策的匹配，针对不同创新阶段的政策匹配等。

10.1.2 构建以企业技术中心为核心的技术创新体系

根据《中共中央关于国有企业改革和发展若干重大问题的决定》和《中共中央国务院关于加强技术创新，发展高科技，实现产业化的决定》的精神，“大中型企业要建立健全企业技术开发中心，加速形成有利于技术创新和科技成果转化

的有效运行机制”。对于规模效益显著的齿轮制造业企业来讲，建立技术中心对整个行业技术创新活动的带动作用是毋庸置疑的，但目前技术中心建设的关键性问题有：第一不是技术中心的数量问题，而是质量和效率问题；第二不是建一个研究机构的问题，而是建立以技术中心为核心的企业技术创新体系问题，仅有一个研究机构不足以支撑企业的技术创新活动，企业必须建立起自己的技术创新体系；第三不仅是开发几项新技术、新产品问题，而是研究确定企业的技术创新战略和建立良好的技术创新机制问题。如果不建立现代企业制度，不制定正确的企业发展战略和技术创新战略，不形成良好的有利于技术创新活动的机制，企业的技术创新活动是不可能有活力的，投入的人力资源和财力资源也不可能得到充分的利用。

加快自主创新，不仅要建立以企业为主体的技术创新体系，也要建立以高校和国家重点科研单位为主体的知识创新体系。高校和科研院所既要加强基础研究和重大关键技术的研发，也要积极面向经济主战场，支持企业自主创新。

10.1.3 实施企业层面的技术创新激励

技术创新是我国企业在知识经济时代作出的现实选择，是企业生存和发展的基本前提。企业的自主创新能力受到一系列内外因素的影响。其中，有效的激励机制则是企业进行技术创新的力量源泉，因此完善激励机制是推动企业开展技术创新的必由之路。科技人员是技术创新的主要承担者，要在企业内部形成一整套完整的人才培养、使用、评价和激励机制，真正把技术创新的效益和风险与科技人员的个人利益结合起来，激发他们的工作热情，最大限度地调动科技人员的创新积极性。

1）建立科学的考核评价体系。对科技人员进行激励的一项重要的基础工作是建立科学的评估机制和体系。只有正确地考评人才，才能提供报酬管理、人事调整、招聘和晋升等方面必要的资料和依据。对科技人员的考核要坚持客观公正、民主公开、注重实绩的原则。只有科学、公平的绩效量化考核体系才能真正做到客观、公正地评价每一位科技人员的工作业绩，使各项考核奖惩有据可依。

2）选择适宜的激励手段。科技人员需要的差异性决定了激励手段的多样性。具体的激励手段根据不同的性质可以分为两类，即物质激励和精神激励。对科技人员的激励应该把物质激励和精神激励结合起来。

10.1.4 加强知识产权保护

温家宝总理曾经明确提出，21 世纪的竞争实际上就是知识产权的竞争。随

着经济全球化进程加快，知识产权在国际竞争中的重要性与日俱增，逐渐成为国家和企业争取科技和经济竞争优势的重要手段，构成了企业和国家竞争力的一个核心要素，日益受到人们的关注和重视。加大知识产权保护的执法力度，加强对知识产权的保护，特别是对假冒、恶意仿制行为进行有效、有力的打击和制裁，这不但是我国必须履行的义务，也是保护和促进技术引进、建立和维护良好创新环境的必然要求。提高知识产权的管理能力，强化知识产权专门职能部门的功能和管理效率，针对国际科技活动所涉及的一些知识产权问题，建立和加强专门性机构，有效处理国际专利申请和知识产权国际仲裁等相关事宜。知识产权环境的完善是跨国公司对我国进行投资的重要考虑因素之一，这就决定了维护知识产权的根本途径是加强相应的法律法规制约，强化执法力度。要在技术引进中对知识产权的保护不断向国际上靠拢，鼓励和支持知识产权服务、中介、咨询机构的成立与运作，成立一批知识产权法律服务机构，大力培养高级别的知识产权方面的专业人才，确保知识产权保护工作全面有效地开展。

10.2 加快结构调整

长期以来，我国齿轮工业偏重于产业规模的扩大和总量的提高，忽视了产业素质的提高和升级。齿轮产业的发展主要得益于高投资的拉动和高速发展的经济，但总体而言，经济效益不高，没有达到速度与效益同步增长的效果。因此，加快结构调整、优化产业结构，才是实现集约经营、加快行业经济增长方式转变的重要途径。加快齿轮产业结构调整，关键要实现两个转变：一是高级化调整，产业结构从较低级形式向较高级形式的转变；二是合理化调整，产业结构向合理性方向的转变，遵循市场发展规律，追求产业规模适度与增长均衡协调。高级化调整强调技术集约化程度的提高，要求主导产业和支柱产业尽快成长实现更替，打破原有产业结构低水平的均衡，实现少数高科技、高效率产业的超前发展，然后带动整个行业的发展。产业合理化要求主机企业和零部件企业间协调发展，在各产业间保持合理的产能匹配，实现产需平衡。规模化和专业化是产业结构调整的两个重要方面，两者相辅相成，缺一不可。规模化强调资本和生产适度集中，通过造就大企业大集团来扩大生产能力、降低生产成本、提高经济效益。专业化则着重于扩大企业专业化生产能力，通过专业化提高生产效率，降低生产成本、提高产品质量。齿轮产业结构调整，包括齿轮行业组织结构调整和齿轮产品结构调整。

10.2.1 齿轮行业组织结构调整措施

1）以市场为导向，推进企业战略性重组，构建以大型企业集团为中心的组织结构。规模经济是提高企业集团经济素质和效益的重要途径，规模经济意味着在扩大生产总量的同时，可以有效降低成本。改革开放以来，特别是我国加入WTO后，跨国公司在我国已经转变策略，由合资为主，转变为独资办厂，如20世纪90年代中期以来，世界知名齿轮制造商开始大量涌入我国市场，仅在天津就有SEW、弗兰德（Flender）、住友（SUMI TOMU）、诺德（NORD）、伦茨（Lenze）等国际齿轮企业的制造基地，这些企业借助雄厚的资金、技术优势和国内廉价的生产、运输成本，几乎完全占领了我国齿轮产品的高端市场，并逐步蚕食我国齿轮产品的中端市场，导致中端市场上我国齿轮企业与外企之间展开激烈竞争，低端市场上我国齿轮企业之间恶性竞争的局面日益加剧。我国齿轮骨干企业要积极利用各级政府的相关政策，可以采取上市融资，以资产、资源为纽带的兼并收购重组等方式，整合优势力量，提高行业集中度，提升企业核心竞争力和自主创新能力。要打造一批拥有著名品牌和自主知识产权、主业突出、核心竞争力强、具有国际竞争力的全球化的企业集团；按产品链、工艺链培育产业链条，提高整个行业的运行效率；打造现代化的、产业链条完整的、有技术内涵的产业集聚区，使其具备现代制造服务功能，为本地区乃至全行业提供研发支持。同时，要把发展壮大企业集团与中小企业专业发展相结合，推动行业资源向大型骨干企业集中。以大型企业集团带动和引导齿轮全行业经济的增长，拉动齿轮工业的产业调整和产业升级。

2）在培育大企业集团的同时，积极引导中小企业发展，建立专业化分工和协作体系。一方面，以资产、品牌、技术和产品等为纽带，将一部分高校、研究所和中小企业纳入到大企业集团的协作体系中来，使其在专业化分工和社会化竞争中得到稳定发展。另一方面，要改变中小企业小而全的散乱状况，借助大企业集团的辐射和带动作用，积极引导中小企业技术进步和产品升级向专、精、特、新方向发展，逐步形成分工合理、组织结构优化的产业组织体系。

3）充分发挥政府机构、行业组织、大型骨干企业和专业科研院所的优势和影响，协调行业关系，规范行业活动，加强行业自律。不健康、不协调的行业关系可能会影响行业的持续发展，企业间的无序竞争也是引发贸易摩擦、阻碍行业技术进步的重要因素。市场经济赋予了企业很大的活动空间，但同时市场经济也是法制经济，企业应遵守行规行约，维护“游戏规则”，加强自律。

10.2.2 齿轮产品结构调整

齿轮制造企业应从市场竞争前景和比较优势分析出发，进行产品结构调整，确定重点发展产品，做到按经济规模大批量、系列化、集成化生产，提高质量，降低成本，完善服务，增强产品的市场竞争能力，提升市场占有率。对高技术、高投入的高端齿轮产品，如大型风电增速齿轮箱及偏航变桨减速器、光伏发电传动装置、百万千瓦级核电齿轮箱、超超临界火力发电机组齿轮调速装置、大功率采煤和掘进机齿轮传动装置、污水处理装置用高速齿轮箱、船用高速齿轮箱、高速列车齿轮传动装置、大型自走式收获机械、大型拖拉机驱动桥箱总成、宽板轧机齿轮箱及大型矿用自卸车、大型露天矿挖掘机用液力变速器等，要集中全力，加大投入，向技术要效益，向规模要效益，向国际市场要效益。

10.3 推动产业升级

未来市场发展将以产业升级为引擎，改变过去那种粗放式的扩张态势。产业升级既是指齿轮工业创新开发的新兴产业，又是指传统产业的转型升级。改革开放以来，我国利用优惠的土地政策和人力资源的优势，在国际产业转移中，承接了传统机械制造业，抓住了机遇，取得了很大发展，成为世界工厂。但时至今日，单靠土地、人力等传统优势已越来越困难。目前，齿轮产品高端市场基本由外企控制，中端市场由中外企业激烈竞争，低端市场由中国大中小企业无序竞争。我国齿轮制造企业面临着加速淘汰低端，做强中端，扩大高端的艰巨任务。以齿轮为代表的基础零部件（包括轴承、液压件、气动元件、密封件和紧固件）不仅是我国装备制造业的基础性产业，也是国民经济建设各领域的重要基础，也是关系到我国战略性新兴产业能否持续发展的核心部件。其产业关联度高、吸纳就业强和技术资金密集，是各类主机行业产业升级、技术进步的重要保障，是我国发展战略性新兴产业的重要支撑，是我国将从制造大国向制造强国转变的标志性产业。我们要坚持科学发展观，促进信息化与工业化融合；要以市场为导向，以企业为主体，通过产学研用相结合，夯实产业基础，优化产业结构；要着力自主创新，实现从规模增长型向质量效益型转变。积极推动产业升级，保持齿轮行业的可持续健康发展。

10.3.1 加快创新能力建设

加快企业创新人才队伍、创新手段、创新机制建设，构建企业完善的创新体系，不断推进企业技术进步。建立创新体系是促进企业结构调整和产业升级的关

键环节。逐步建立起以企业为主体、适应市场经济体制和现代科技发展要求的技术创新体系和运行机制，以及技术成果迅速转化为生产力的应用机制；建立面向社会、为行业服务的共性技术研究和新产品研发平台；建立依托行业归口院所和骨干企业、面向广大中小企业、辐射力强的技术支撑体系；建立以企业为主体的产学研联合机制；建立有利于人才成长和作用发挥的科技人员培养和激励机制；建立以企业投入为主，多渠道、全方位的资金支持和保障机制。围绕这些主要环节，要进一步建立健全相应的法律法规体系，完善政策措施，为加速技术创新创造更好的条件。

10.3.2 加大投资结构调整力度

1）正确处理基础设施建设与产业升级的关系，加大对产业升级的投入力度。在继续扩大基础设施建设的同时，应加大对能拉动产业升级的领域的投资。要通过对基础设施建设所需要的原材料生产和设备工艺的改造，积极采用新材料、新工艺，使基础设施建设成为拉动产业升级的重要力量。

积极运用财政杠杆，支持产业升级。改革和完善我国税收制度，逐步使我国以间接税为主的税收体系向以直接税为主的税收体系过渡，以利于大量知识和智力投入进入企业生产成本，减轻高新技术企业税收负担，促进高新技术企业迅速成长。

改变国家对科技的投入方式。加大对行业基础技术研究的投资力度，加大面向企业的科技投入力度，将一部分支持应用研究的财政拨款改为对企业技术开发和成果转化的贴息或无息贷款，用财政贴息手段引导银行贷款和社会资金投入，使投入科技进步的有限财政资金充分发挥其“ 四两拨千斤”的作用。

2）加大金融系统对产业升级的支持作用，建立有利于产业升级的风险投资基金。

3）加大科研开发的投入，使企业成为技术开发的主体。支持企业选择符合自身实际的技术创新机制。鼓励大型企业集团在国外建立科研机构和技术开发中心，或与跨国公司联合设计和开发。培育和扶持中小型企业，为其创业和成长创造良好的市场竞争环境。鼓励和引导中小型企业建立联合开发中心，通过市场与科研院所、高等院校合作，提高技术创新能力。

4）扩大技术引进和对外技术合作，促进引进技术消化、吸收与创新。技术引进是快速学习和掌握国外先进技术，加速产业升级，转变经济增长方式的有效途径之一。要继续鼓励外商投资，通过利用外资来加快产业升级，提高利用外资

的质量和技术含量。鼓励外商与国内具有一定实力的企业合资合作，进行新产品、新技术的合作开发，共同开拓国内外市场。同时，要加大引进技术中用于消化吸收的资金投入比重，在引进技术消化吸收的基础上，加强技术再创新。

10.3.3 大力发展高新技术产业

加速发展高新技术产业，振兴装备工业，用高技术改造和提高传统产业。广泛采用先进技术，特别是高新技术，提高传统产业的技术装备水平和技术开发能力，真正培育一批技术含量高、对整个产业拉动作用大的新兴产业，是形成一系列新的经济增长点，促进产业结构升级的重要举措。

10.4 强化品牌建设

自 20 世纪 90 年代起，随着竞争的日益激烈、市场经济的调整、技术的商品化，企业间的竞争已从价格竞争、技术竞争进入到品牌竞争阶段。知名品牌成为企业追求、消费者青睐的热点。知名品牌的培育对振兴企业经济，促进区域经济发展具有举足轻重的作用。实施品牌战略是企业实现产品优质优价、追求最大利润的有效途径；消费者购买品牌产品是追求时尚、放心消费的体现。加强品牌建设，首先要提高对品牌建设的认识，有不少企业在自身品牌未形成之前，只重视企业发展，盲目扩大生产规模，忽视了品牌战略规划和建设。当发展到一定规模时才认识到品牌战略的重要性，但此时错过了品牌打造的最佳时间，造成企业无形资产的丢失或资源的浪费。企业虽然拥有先进的资源配置，却没有占主导地位的品牌产品，表面上看产品多元化生产，但实质为多品种单件生产或没有高附加值主导品牌的批量生产，企业始终处于一种小徘徊或小步走状态，难以做大做强。只有提高认识，把品牌建设当作企业建设的第一要务，树立品牌价值观念，打造品牌、扩张品牌、发展品牌产品，达到规模经济，才能进一步促进品牌建设。其次要注重质量、把握细节，逐步提升品牌的文化内涵。产品质量的改善，要从产品全生命周期的每个环节抓起，细节决定成败，细节决定品质。品牌也是企业文化的重要载体，有什么样的企业文化，就有什么样的品牌。企业文化建设直接影响品牌战略、品牌建设，企业文化建设应该和品牌建设结合起来。随着时代的发展、技术的进步，人们对产品的期望越来越高，需求越来越多，品牌产品的质量标准必须随着时代的发展而不断提高，同时，也应注重品牌的不断延伸。对设计、工艺、规程、检验、资源、流程、机制、管理和服务等的持续完善，是不断提升品牌竞争力的根本要求。我国齿轮产品品牌建设要从以下几个方面入手：

1. 强化政策的支持力度

我国齿轮产品品牌建设绝不仅是齿轮制造企业自身的事情，更需要政府及其相关组织实实在在的大力支持。面对齿轮产业发展中的市场全球化、生产专业化、管理现代化的趋势，我国齿轮制造企业在大力实施品牌战略方面必须适应国际齿轮行业通行的规则和要求，在品牌创新、管理和知识产权保护等方面尽快与国际市场接轨。政府应该运用一系列的法规引导企业培育和发展自主品牌，如在融资和税费等政策上予以倾斜等。地方政府应相应地提高对加强齿轮等零部件企业商标品牌服务和管理工作重要性的认识，依照政策、法规，积极支持和服务企业做好商标注册和使用，引导企业实施商标战略，提高企业知名度、产品的市场竞争力及市场占有率。

目前，我国齿轮零部件工业发展正处在管理体制、运行机制和市场环境转型的关键时期，制定正确、符合实际的政策对实现这一转变，促进中国齿轮零部件企业健康、快速发展至关重要。因此，应对新的形势，必须着手研究和解决好以下几个主要问题：一是加强法制化建设，促进公平竞争。逐步建立开放、公平、有序的竞争环境，优胜劣汰的市场机制，规范齿轮零部件市场，发挥市场对资源的优化配置作用，为齿轮零部件企业创造良好的外部发展环境。要研究制定公平竞争的政策措施，抓紧制定和完善实施安全、环保等齿轮零部件产品认证的相关技术法规，加快颁布和实施与国际接轨的零部件产品类型认证制度，尽快建立和完善零部件产品认证检测机构。二是扶优扶强，推动产业结构的调整。要优先支持和鼓励零部件优强企业进一步发展，引导地方、部门、民间、外商将资金投向零部件优强企业，使其尽快壮大实力，提高竞争力。对于有利于优化结构的关键零部件项目和能为多家配套，市场占有率高的二、三层次零部件生产企业，要给予相应的政策支持。要鼓励汽车等生产企业打破地方、部门、集团的界限，建立和完善现代零部件配套及采购体系，避免各地区、各行业齿轮生产企业自成体系，造成新的分散、重复。三是强化技术开发，促进开发能力的形成。国家要鼓励和支持有条件的零部件优强企业加大产品开发及能力建设的投入。要优先鼓励和支持有利于产品结构调整和升级换代的技术创新项目，限制低水平的、单纯扩大生产能力的建设项目。四是面向国际市场，促进经济规模的形成。鼓励和支持行业排头兵企业及外向型企业积极参与国际竞争，扩大出口创税。对产品出口实行出口退税优先。鼓励有条件的企业在海外建立生产基地，鼓励和支持建立国际齿轮及零部件市场信息网，使企业能及时获得准确的信息。加强出口产品组织协调，发挥整体优势，避免无序竞争。要在齿轮零部件行业大力推行国际通行的质量体

系认证，以取得进入国际市场的通行证。

2. 注重品牌的战略管理

我国齿轮企业的品牌管理应该从战术型的及时反应状态向战略型的具有远见的方式转变。由于进一步的市场细分和品牌多元化，以及品牌延伸和子品牌的出现，企业对品牌的管理也应上升到一个新的高度，传统的、单一的品牌管理模式已经不能适应市场的需求，企业需要建立具有统一协调功能的战略型品牌管理模式。在品牌的管理和设计过程中，信息整合是基础，建立在市场研究基础上的品牌定位是关键。品牌设计、品牌审定、品牌推广、品牌监控应贯穿整个产品的生命周期。

3. 采取兼并重组的自主品牌建设策略

发起于 20 世纪 70 年代末期的世界经济国际化，把世界齿轮零部件企业也推入了一个无国界经营的状态，特别是 20 世纪 90 年代互联网的兴起，又加速了全球经贸一体化的步伐。我国齿轮零部件行业之间的兼并重组、创立合资或合作企业、企业部分或全部合并、联合开发项目等层出不穷，遍及世界范围的资本重组也完全改变了传统的齿轮零部件品牌创立与管理体系，兼并重组的品牌建设策略将是未来一个时期内品牌建设的重点。

4. 注重品牌与质量、服务、文化、管理和创新的关系

品牌是企业的产品质量、服务、文化、管理和创新等要素的综合体现，这些要素也构成了品牌的基本内涵。一个企业想要站在战略的高度从内部去经营、维护、积淀和规划品牌，从而致力于塑造品牌内涵，就必须从质量、服务、文化、管理和创新等诸方面去加强品牌的建设。

5. 实现从产品品牌到企业品牌的建设

齿轮产品品牌个性在建立初期同其他商品一样，都是基于其产品的功能、特点、用途或主要消费群而定位和诉求的。因为齿轮产品与其他商品一样，在发展初期受制于特定技术和消费需求的限制，市场还处于卖方市场，品牌个性的建立必须依赖于产品的具体特征才能加以塑造，进而形成用户对品牌的识别。但是，随着制造技术的不断完善和市场竞争的日益加剧，齿轮产品的功能性特征差异越来越小，产品的同质性越来越强，尤其是趋于网络化、国际化时，依靠产品特性优势而奠定的品牌个性优势将不再明显，因此，要通过品牌建设来实现对齿轮制造业的企业品牌的打造。

要建立企业品牌，借助企业独特的价值观念、团队构成、技术特色和企业资产等软性因素，逐步建立起一种组织联想，并通过舆论、广告和促销行为传播移

植于用户脑海之中，让目标对象对企业自发地产生良好的印象，完成企业品牌的塑造。企业的价值核心如何被用户认可，所依赖的已经不仅是价格、质量和服务等要素，还取决于企业品牌如何被用户接受，通过良好的社会形象，拉近品牌与用户之间的距离。企业经营到一定程度，必然是经营社会或者说是经营社会化的品牌。齿轮零部件行业也是如此，由于齿轮零部件产业是一个全球化的行业，企业在推动其品牌国际化进程的同时，要与当地政府、企业建立良好的合作关系，得到当地政府政策的支持。齿轮零部件企业品牌的象征意义超越了产品品牌的本身，应把企业品牌演变为社会认可的一个符号、一种精神或一种情怀。

10.5 完善标准体系

近年来，随着我国齿轮产品质量的提高、数量的增加、产业规模的逐年扩大，以及大量国外先进齿轮产品、加工设备和检测设备的引进，市场对标准化的需求也在增加，这一点从企业和市场对标准化的咨询量、对标准和标准资料的需求量上也可得到佐证。目前，我国齿轮标准的老化现象比较严重，难以适应产业和市场的发展。现行国家标准中，2000 年及以后发布的标准仅占 26%。因此，对标龄较长的标准进行修订已刻不容缓。另一方面，近年来尽管国家对标准化工作的投入有所增加，但与齿轮行业的发展相比，投入国家标准和行业标准（尤其是基础性标准）的制订及修订的人力、财力仍显得杯水车薪。例如我国摩托车齿轮的 5 项标准，历时 7 年才得以发布，主要原因就是经费短缺。

完善标准体系要在全国齿轮标准技术委员会及相关行业组织的组织下，发挥好归口院所和骨干企业在标准制订及修订中的主体作用，积极推进国内外技术交流，鼓励企业参加国际标准化组织活动，加强齿标委会、机械传动分会、齿轮分会等组织与国际标准化组织的合作，努力争取国际标准制订的话语权，力争实现国际标准制订及修订零的突破。具体要做好以下几点：

1）加大标准化工作的投资力度，开展基础性标准的专项研究。

2）加强标准化工作的组织建设和人才队伍建设。

3）完善标准化政策，鼓励企业参加标准化工作。

4）加大标准的制订及修订和宣贯力度。

5）促进自主知识产权成果转化为标准，提高标准的技术水平。

10.6 优化企业管理

随着改革的不断推进，企业特别是国有企业通过改制、改组、改造和精细化

管理，企业的活力和实力明显增强，我国齿轮生产企业的面貌也发生了很大变化，对市场由被动卷入到主动适应，参与市场竞争的能力大大提高。但应该看到，随着设计技术、制造工艺和制造装备水平的不断提高，企业管理水平的高低成为影响齿轮产品成本和质量的核心因素，不少企业，甚至一些大中型国有企业在国内外市场激烈竞争中显得不太适应。有些企业观念落后，管理水平较低，职工素质不高；有的企业决策水平低，缺乏监督和自我约束机制；有的企业技术落后，产品档次和质量不高，经济运行质量低下。要改变这种状况，除加大技术创新能力建设外，其根本出路就在于深化体制改革，强化企业管理，加快结构调整。向管理要效益、求发展，既是企业摆脱困境的重要选择和现实途径，也是企业追求进步，追求卓越的永恒主题。

加强企业管理首先要大力培育和不断强化管理的新观念，增强企业管理的紧迫感和责任感。实践证明，管理水平的高低，在很大程度上决定了企业全面发展的快慢和质量的高低。国内外先进企业的管理经验表明，三分靠技术，七分靠管理，管理也是生产力。在当前形势下，齿轮产品企业的各级管理者，要以高度的紧迫感和责任感，充分认识加强企业管理是企业走向市场的基本功，把增强企业活力，提高企业效益的关键，定位在改制、改组、改造和加强管理的有机结合上，以科学有效的管理，保证和巩固企业发展、结构优化及技术进步的成果。其次要建立主动适应市场需求的管理新机制，根据企业的现状，有必要建立健全决策管理机制、激励约束机制及经济运行机制；同时，要形成以资金管理为核心的资产运营体系和以内部市场运作、价值形态管理为主要内容的成本目标管理体系等。企业要按照创新的要求，不断改进管理基础工作，完善基础工作内容，并在管理中抓好关键，把握重点，以充分体现出企业管理的层次性、针对性和实效性。

10.7　实施人才战略

齿轮专业是机械工程中技术较复杂，涉及学科门类较多的专业之一，人才的培养需要一个较长期的过程，我国大学的本科教育中，涉及齿轮方面知识的讲授课时很短，国内大学中齿轮本科专业也很少，企业是齿轮专业人才培养和锻炼的主要平台。

要实现齿轮产业跨越式发展，必须实施人才战略，要做到善于发现人才、善于培养人才、善于留住人才、善于发挥人才专长。20 世纪 90 年代前，相当多的工科院校都设有专业的齿轮研究机构及一支稳定的科研团队，随着市场化的深入

以及国家对齿轮等基础件研究投入的减少，目前仍保持有齿轮研究团队的高校已属凤毛麟角，除企业外，全国专门齿轮研究人员大幅度减少，齿轮基础研究处于历史低谷，也缺少了人才培养的机制和平台。行业组织、行业专家、行业专门科研单位和骨干企业，应认识到我国齿轮工业基础研究和人才培养的严重性和紧迫性，呼吁国家进一步加强对齿轮等基础零部件的基础研究工作，逐渐在一定程度上、一定范围内恢复齿轮专业基础研究和人才培养的氛围和机制，通过产学研合作、产业联盟等形式，进一步加强齿轮制造业企业与科研机构、高等院校的合作关系，充分发挥现有创新平台、行业资源的作用；积极吸引各类优秀人才进入企业，参与企业的技术创新活动，在企业内部培养一批具有创新意识、懂技术、善经营、会管理的企业家和技术创新带头人；培养一批具有较高素质和技术能力的技术工人和具有专业技术知识与市场开拓能力的技术服务人才。政府和行业组织要建立长期有效的技术创新和人才培养投入机制，积极推进全行业技术创新能力和创新水平的持续提高。

第 11 章

我国齿轮产业发展风险分析

11.1 技术风险

技术风险是指由于技术上的不足或缺陷以及技术分析和决策失误等原因，给投资经营带来损失的可能性。技术风险的种类有：技术不足风险、技术开发风险、技术保护风险、技术使用风险、技术的取得和转让风险等。

技术风险的来源主要表现在以下两个方面：

1）技术创新所需要的相关技术不配套、不成熟，技术创新所需要的相应设施、设备不够完善等。由于这些因素的存在，影响到创新技术的适用性、先进性、完整性、可行性和可靠性，导致新技术、新产品达不到预期的要求，从而产生技术性风险。许多企业热衷于提高企业技术水平和科技含量，盲目引进国外先进技术和设备，结果造成食洋不化，设备闲置。

2）对技术创新的市场预测不准确。任何一项新技术、新产品最终都要接受市场的检验。如果不能对技术的市场适应性、先进性和收益性作出科学的预测，就很难避免创新技术带来的风险，特别是在初始阶段存在的风险。这种风险来自于新产品开发后达不到预期的市场效果，如新产品由于性能、价格、质量等原因不被市场接受，市场发生了变化或投放市场后被其他产品取代等。因此，企业在技术创新上不可避免地存在风险，并非技术越先进越好。

技术风险的防范措施主要有：

1）新技术应符合先进性、适用性、经济性和安全性原则。

①先进性：所选技术必须是先进的，为行业领域内的领先技术。

②适用性：新技术、新产品应符合我国国情、国力和经济发展的需要，能在短期内产生较好的经济效益和社会效益。应符合国家和行业技术的发展需要；能够提高产品性能和质量，有利于降低成本；有利于节省原材料和能源消耗，有利于环保和安全；能够适应现有技术水平和管理能力要求，充分利用现有条件，采用后能充分提高生产效率、经济效益和社会效益；引进的技术应能尽快得到消化、吸收和再创新等。

③经济性：以最合理的成本取得最大的经济效益。要兼顾好短期经济利益与长期经济利益的关系，局部利益与全局利益的关系，经济效益与社会效益的关系。

④安全性：新技术的采用不会给生产人员、使用者、社会和环境带来负面影

响和负面作用。

2）提高企业自身技术和管理水平，正确认识新产品开发的艰巨性。目前，我国齿轮行业引进的往往是产品，并非单一的技术。要把国外提供的技术变成达到国外水平的产品，除消化国外产品的图样外，一般还涉及材料与制造工艺、刀具与工装、加工装备、生产管理等方面，仅注重技术的引进是远远不够的，洋技术水土不服的现象时有发生，往往采用相同的国外技术，甚至采用相同的加工装备，但生产的产品质量未必能达到国外产品的水平，因此，在重视技术引进的同时，企业的装备水平、管理水平、员工素质等都要达到相匹配的水平，这对引进技术的消化、吸收、再创新是缺一不可的。

同时，要摆脱对国外技术的长期依赖。技术引进的本质是缩短技术学习的过程。引进 1 美元的技术，日本会用 7 美元进行消化、吸收、再创新，而我国却只用 0.07 美元进行消化。这说明日本注重技术学习的过程，而我国只重视引进本身。

在这种情况下，一些企业不知不觉就陷入了技术引进依赖的怪圈，致使很多技术引而未进。对企业来说，引进技术始终是外在的。如果没能让引进的技术在本企业扎根，也没有培育出再创新的能力，那么，企业需要新技术时只能再度引进。这一点应引起我们的高度重视。以风电增速箱为例，我国从 600kW 一直引进到 5MW，重复引进现象十分严重，导致国外企业漫天要价，引进成本提高，有些企业总认为国外的技术都是好技术，不考虑是否符合我国国情，是否符合自身的生产和管理模式，是否与自身能力相一致，致使我国成了国外新技术的试验场。

核心技术是竞争的精髓，图样可以买进来，国外的服务可以买进来，但核心技术谁也不会主动卖给你，缺乏人才的培养，缺乏对引进技术的消化、吸收和再创新，就不可能掌握到核心技术，我国企业就会一直受制于人。齿轮行业要摆脱资源和技术的依赖，必须持之以恒地培育出自己的创新能力。

3）注重人才培养，增强企业自主创新能力。目前我国齿轮行业的发展速度远远超过了我国已有成果和经验的供给能力，大量高端齿轮产品仍需从国外引进。创新能力薄弱已成为制约我国齿轮产业持续快速发展的主要瓶颈，注重人才培养，加强人力资源建设成为增强创新能力的关键要素。企业的科技创新能力由研究手段、管理水平、科研任务及文化等多个因素所决定，其中人才的创新能力相对于资源与环境来讲起决定性作用，一流的人才在较差的环境中也有可能做出一流的成果。一个企业创新能力的强弱在某种意义上取决于人才凝聚、发现、培养和使

用等诸环节。建立与完善人才（特别是青年人才）的“选种”“孵化”、培养和考评机制是人才培养的重要环节。“选种”是人才培养的关键一环，完善的培养过程可以发挥“种子”的最大潜能。要建立与完善人才的成长链与出口机制，树立科学的人才观，辨证处理创新人才培养过程中的各种矛盾。在建立长效的创新人才培养机制过程中，要树立科学的人才观，在实现人力资源发展规划的过程中要注意人力资源的引进与自主培养。要在坚持自力更生、自主培养人才的同时加强高级创新人才的引进力度。要面向未来、逐步确立开放的国际化的人力资源发展战略。

4）充分发挥行业公共技术服务平台的作用。“六五”“七五”期间，我国在以齿轮技术为主的机械传动研究方面投入了大量的人力、财力，先后完成了齿轮材料、热处理、强度、CAD 优化设计、加工工艺、润滑、新产品开发、标准制订等数百项研究课题。但由于目前我国齿轮行业缺乏共性关键技术研究的经费投入及机制，缺乏资源和信息共享平台，整个行业因缺乏基础技术研究而创新能力不强；加之近十年来科研机构向企业化体制转化，研究院所把主要精力放在本单位的经济收益上，疲于应付频繁的市场奔波和日常的生产任务，无暇顾及行业上的前瞻性、开拓性和公共性的项目研究，科研成果数量逐年下降；高校的研究又往往偏于理论，研究成果与产业化生产还有相当的距离；生产企业新产品及高新技术产品的开发设计能力薄弱，企业、科研院所以及高校之间缺乏相互合作的平台，没有技术攻关和产品创新的攻关机制，从而使我国齿轮传动技术与国外的差距越拉越大。因此，建立行业公共技术服务平台，加快关键共性技术和核心技术的研究和行业创新能力的提高是十分迫切和必要的。

5）强化基础技术研究，增强企业技术创新能力。机械产品的性能及可靠性主要取决于机械零部件的性能和可靠性。重要的机械零部件主要包括各种齿轮及齿轮变速箱、制动器、离合器、轴承、泵及阀等。我国齿轮传动及其产品急需的基础技术主要有：

①新型机电液复合精密传动理论与综合控制技术。

②极限尺寸（超大、极小）齿轮传动设计制造技术。

③高参数、高可靠性和高功率密度齿轮传动设计制造技术。

④特殊工作环境下齿轮传动设计制造技术。

⑤特殊齿形齿轮及新型齿轮传动设计制造技术。

⑥齿轮传动装置现代故障诊断及在线检测技术。

⑦齿轮传动装置的减振降噪与增寿技术。

⑧复杂共轭曲面创成、检测及精密制造技术。

⑨新材料、新工艺研究及绿色制造技术等。

目前，我国在高速度、高功率密度、长寿命、高效率及高可靠性等高参数齿轮传动设计制造技术方面与国际先进水平差距较大，而且差距仍在加大。在重大装备、重大工程等项目中产品的国产化率较低，产品质量仍有不小差距。

1）高端关键制造装备主要依赖进口。我国高端关键装备基本上还是主要依赖进口，高技术装备的创新能力严重不足。以撑起我国国民经济半壁江山的汽车、石油、电力及冶金等工业为例，由于我国所生产的上述行业所用设备及其零部件多数档次低、技术含量不高，很多技术水平高的装备，虽价格昂贵，但不得不主要依赖进口，不仅直接花费大量外汇，而且使我国的工业发展受制于外国。例如德国三家公司生产的、具有国际先进水平的大型数控成形磨齿机，每台售价数百万美元，近些年生产的 80%以上的产品都出口到了我国。

2）高参数齿轮传动产品大量依靠进口。目前我国能源、冶金及石油化工等领域成套设备和重大装备所用高参数传动装置以及汽车自动变速器、高速机车齿轮传动装置等仍主要依靠进口。如 900MW 和 1 000MW 超临界、超超临界火电机组的大型调速传动装置、包括超大模数齿条在内的海洋石油钻井平台升降系统、多兆瓦级风力发电增速传动装置、大型燃气轮机与大型化肥装备等用的高速齿轮传动装置、轿车全自动变速器、高速机车齿轮传动装置等基本都依赖进口。

3）齿轮零部件市场纷纷被国外公司瓜分、垄断。我国除了高精尖齿轮传动装置主要依靠进口外，工业通用减速器市场也被国际大公司占据，如弗兰德公司、SEW 公司，不断建新厂、建分厂，而且由于利用了我国的优惠政策及廉价劳动力，其价格优势也已突出，发展态势强劲。

在新兴的高技术齿轮传动市场方面，由于全球能源危机及环境污染严重，风能已被国际上列为最有前途的清洁能源，而且取之不尽。我国国家发展改革委员会及科技部重点支持发展我国风能发电机组的自主开发能力，其中核心技术之一便是齿轮增速箱技术，其可靠性要求相当高，因此技术难度大。我国对该项技术前期研究开发工作进行得很少，基础薄弱，与国外技术差距甚大，目前大型风力发电机齿轮箱技术主要依靠进口。

4）缺乏原创技术和产品，低端产品膨胀，恶性竞争剧烈。齿轮行业自主创新能力薄弱已成为发展中的突出矛盾，核心技术匮乏已成为制约产业结构调整的

关键瓶颈。由于缺乏创新技术和高技术含量的专利产品，国内齿轮产品无法形成高、中、低的多层次性，几乎都集中在低端产品上，产品生产技术含量低、规模小、技术落后，为了争夺市场只好采取价格竞争，造成国内厂家自相残杀，正好给国外企业创造了渔翁得利的机会。

5）缺乏推动行业技术进步和结构调整的平台。科研院所转制后，整个齿轮行业没有一家面向全行业的基础研究和应用研究机构，也没有能够为行业提供齿轮传动新产品性能试验测试服务的机构；全行业基础理论研究的经费投入和从事研究的人员逐年减少；全行业缺乏具有自主知识产权的基础研究成果，缺乏能够推动全行业技术进步和结构调整的创新平台。

11.2 人才风险

1. 人才外流风险

当前我国企业的人才风险主要表现为普通员工的频繁跳槽和中高层管理人员的非正常离职。造成我国企业人才外流的主要原因有：①利益驱动，为了追求高薪，不论是企业的普通职员还是中高层管理人员，很多人都可以义无反顾地离开原来的企业；②行业间的不正当竞争促成了人们盲目流动，有些企业为了节约培训成本，规避社会责任，只是简单地对自己所需的人才采取一“挖”了之的态度，无形中促成了人们流动的盲目性；③人员流出企业的管理现状确实不尽如人意；④国外企业对我国人才的争夺，随着国外高级人才缺口的增大，我国优秀人才随之成为觊觎的目标。跨国公司为争夺我国的市场份额，纷纷挖掘我国的高级人才，“人才本地化”已成为跨国公司在我国成功发展的一条重要经验。

一定的人员流动率是经济和社会发展的必然结果，但过度频繁的流动，无论对个人还是对企业而言都是一种资源浪费。我国最缺的不是资金，也不是技术，更不是市场，而是人才，特别是优秀的高级管理人才。企业中高层管理人员的意外离职，有时会给企业带来巨大的损失，因为他们熟悉本企业的运作模式、拥有较为固定的客户群，而且离职后只要不改行换业，投奔的往往就是原企业的竞争对手，势必会给原企业的经营和发展带来较大的冲击。

2. 人才获取风险

一般而言，在信息对称的情况下，级别不同的企业会招聘到能力不同的人才，优秀的企业容易招聘到能力高的人才；同样，能力不同的人才会落户到不同级别的企业，高能力的人才容易受聘到优秀企业。但由于信息不对称，难免会导致企

业在招聘过程中承担风险。

假设一批能力不同的人才到企业应聘，如果信息是对称的，企业和人才都会根据人才的能力高低提出自己的要求，受聘双方都可满足需求。而在现代社会中，信息往往是不对称的，招聘企业并不知道应聘人才的真实能力。在这种情况下，招聘企业只能根据应聘人才的平均能力来确定聘用的人才和给予其待遇。于是，高能力人才将退出应聘过程，人才的平均能力就会下降，理性的招聘企业知道这一情况后，便会降低给予应聘人才的待遇。结果造成更多的较高能力的应聘人才退出招聘市场，如此循环下去，形成“劣币驱逐良币”现象，即低能力人才对高能力人才的驱逐。最终导致低能力的人才获得了较高的待遇，而招聘企业却承担了较高的招聘成本而无法获得高能力人才。

3. 人才道德风险

同样，企业在人才招聘中存在信息不对称，而且在人才进入企业后仍存在着信息不对称。企业与人才订立委托－代理关系后，企业的效益是通过人才能力的发挥来实现的。但是人才的能力发挥是无形的，对它的监督和控制是很困难的。企业无法判断出人才现在的努力程度和人才行为在多大程度上符合企业的利益等。而且，根据“理性人”假设，人才往往倾向于作出有利于自身的决策，由此，导致企业在人才雇用过程中承担人才的“道德风险”。

4. 人才使用和维护风险

人力资本潜力的发挥受许多因素的影响，包括适当的激励机制、适宜的内部环境等，用人不当会增加包括使用成本和机会成本在内的各种成本。保持一定数量忠于企业的人才有助于企业持续发展，但由于当今社会人才的稀缺性、高流动性，造成维持成本偏高。

5. 危机意识薄弱风险

我国企业识别人才风险的能力和处理人才危机的措施普遍薄弱，这是一个比上述几个原因更危险的因素。据调查，我国仅有 17.2% 的企业在平时就比较注重培养高层管理人员的“接班人”，一旦出现重要管理人员危机，可由“接班人”直接接任其工作，对企业的正常运转不会造成过大的影响；18.2% 的企业对企业的人才危机持不在意态度，出现人才危机时或由上级指定临时接班人，或采取临时内部竞聘的方式。也就是说，我国很多企业居然没有意识到人才风险、人才危机的存在，也就自然谈不上预防和解决了。

11.3 市场风险

据预计，2012 年齿轮、传动和驱动部件制造行业总收入将突破 1 600 亿元，到 2016 年将达到约 4 100 亿元；2012 — 2016 年齿轮、传动和驱动部件制造行业总收入年均复合增长率约为 26%；利润方面，2012 年齿轮、传动和驱动部件制造行业总利润将达到 140 亿元，到 2016 年将达到 460 亿元，2012 — 2016 年齿轮、传动和驱动部件制造行业总利润年均复合增长率约为 35%。图 11-1 和图 11-2 所示分别为 2012 — 2016 年齿轮行业收入和利润预测值（数据来源于中投顾问产业研究中心）。

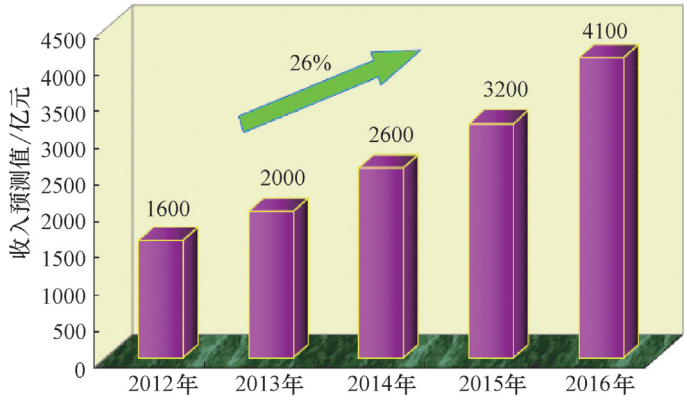


图 11-1　2012—2016 年齿轮行业收入预测值

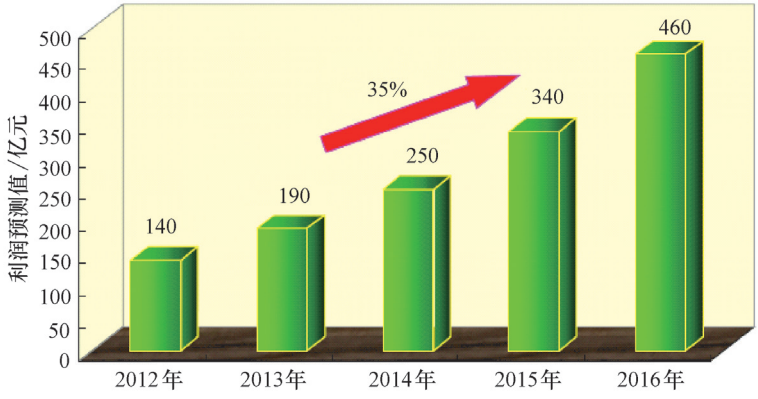


图 11-2　2012—2016 年齿轮行业利润预测值

目前，我国齿轮市场体现出以下特点：

（1）产业过于分散，市场竞争无序　齿轮产品处于产业链的中段，被强大的钢铁冶金企业与整机组装企业夹在中间。国际跨国集团利用我国企业同行是冤

家的旧习，同业互不来往的特点，各个击破，互相压价，低价采购，造成分散的齿轮企业恶性竞争，使许多小企业难以形成自主创新能力，处于争生存的尴尬境地。图 11-3 所示为 2011 年部分省市齿轮产量，可以看出，所列 19 个省市中，10 万～ 20 万 t 的只有 3 个省市，2 万～ 8 万 t 的有 5 个省市，其他 11 个省市的产量均小于 2 万 t。

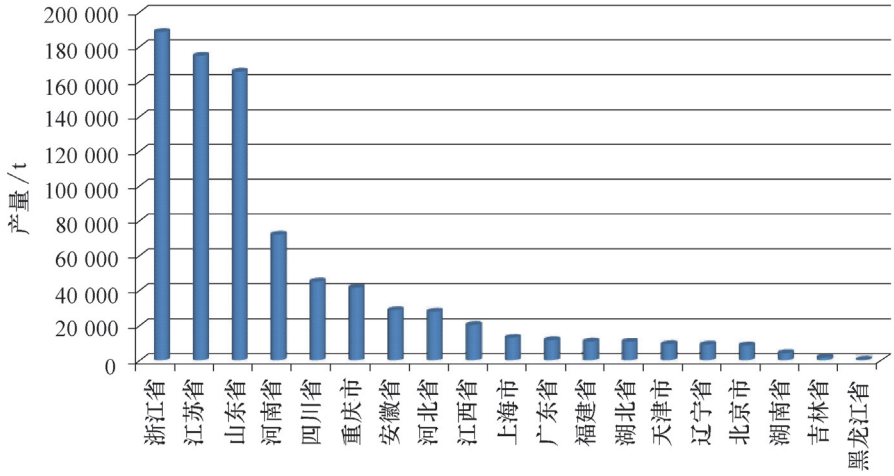


图 11-3　2011 年部分省市齿轮产量

（2）产业链尚未形成，企业缺少定价权　主要表现为：齿轮产品从齿轮优质材料供应、少无切削精锻毛坯、热处理内在质量的严格控制，齿轮精加工和在线检测等，都没有形成比较健全的产业链市场体系，影响了齿轮产品技术水平的提高，影响了产品质量追溯体系的健全，也影响了企业定价的话语权，上下游协商与平等谈判权。

（3）企业创新能力缺失，难于参与国际竞争　齿轮行业只有少数企业具备了一定的新产品研发等自主创新能力。由于创新能力的缺失，导致多数企业只是一个来图加工的加工制造型企业，产品升级换代的能力很差，只能靠扩大产能，低质、低价销售，被迫参与无序竞争。由于产品难以换代升级，不具备参与国际市场中高端齿轮市场竞争的能力。

11.4　资金风险

目前，齿轮产品的性能正向着高转速、大功率、长寿命等方向发展，齿轮产品制造向着数字化、高效率、高精度、低能耗方向发展，通常采用硬齿面和精密终加工技术，需要制齿、热处理、磨齿等高档数控装备，故齿轮产业属技术密集、

配套链长、工艺复杂、投资强度大的产业。数控制齿、数控加工中心、数控热处理、数控成形磨齿机及精密检测设备等价格高达千万元以上。

目前，在投资时还应注意我国齿轮制造业的如下特点：

（1）制造工艺复杂，投资强度大　与装备制造业中的其他行业相比，齿轮加工体现出技术密集、工艺复杂、配套链长及投资强度大等特点。除箱体类加工装备外，齿轮的制齿、热处理、磨齿、检测及试验装备多为专用设备，且设备价格较昂贵。

（2）高端市场需求强劲，中端市场竞争激烈，低端市场产能过剩　经过几十年来齿轮产业的稳步发展，市场在振荡中的竞争日趋激烈，齿轮产业市场正逐步走向成熟。总体上市场供需基本平衡，但中低端市场出现产能过剩苗头。特别是最近几年风电装备出现井喷式增长，导致风电齿轮产品投资剧增，随着风电市场的波动，造成部分企业，特别是缺乏技术支撑和产品调整能力的企业出现产能过剩。

（3）全球采购贸易加速，国内外市场融合加快　随着我国改革开放的进一步加快，信息化、网络化的进一步普及，推动了全球采购、贸易加速。其主要表现为：

1）现代贸易中图样、标准、报价系统及物流等传递快捷。

2）成套装备的标准化、模块化促进了专业化细分市场的发展。

近年来，我国齿轮制造业发展迅速，企业数量、类型、规模等均发生了很大变化，齿轮制造企业中既有国有的专业齿轮制造厂和大型综合企业中的齿轮分厂或车间，这些企业多是计划经济年代建立起来的，目前仍是齿轮制造业的中坚，特别是技术资源雄厚；同时，民营和股份制企业大量涌现，国际知名齿轮制造企业均在我国设立了独资或合资企业。

（4）企业竞争的核心在于创新能力　齿轮产品的制造涉及设计能力的强弱、制造装备的优劣、管理水平的高低等，仅靠大量的设备投入是远远不够的，没有技术的支撑，企业只能处于固定产品的生产和来图加工模式，难以适应市场的变化。

（5）投资趋同现象严重，投资风险加大　以风电齿轮箱市场为例，最近几年我国投资了几十家风电齿轮箱专业制造厂，每家企业的投资都在数亿元，甚至数十亿元，仅试验台的投资就都在千万元以上。随着市场的变化，难免出现产能过剩；另一方面，也极易出现相互压价、恶性竞争的现象。

投资多是企业的独立自主行为，行业内缺乏投资引导、协调和风险共担机制，投资时机、投资规模不恰当，市场和技术支撑不匹配等造成的投资风险极大。

齿轮制造业的投资包括基建投资、设备投资、产品开发投资及流动资金等，

其中设备投资所占的比例最大。齿轮制造装备主要包括以下几类：

1）齿轮类加工机床。常见的齿轮加工机床主要包括滚齿机、磨齿机、插齿机、铣齿机及热处理设备等。以硬齿面工业齿轮为例，外啮合齿轮目前主要采用 CrNi 合金钢锻件—滚齿—渗碳淬火—磨齿工艺，滚齿精度对齿面最终精度影响较小，主要追求滚齿效率。目前，国内采用的高档数控磨齿机几乎全部进口，5 级精度已成为普通精度，3 级精度也较容易达到。因此，外齿轮的精度目前已不成问题。内齿加工装备目前是制约大型行星齿轮质量和产量的主要瓶颈，主要原因在于：

①内齿制齿效率低，机床成本高。

②热处理难度大、周期长、成本高等。

由于受内齿圈热处理质量的制约，目前内齿圈采用调质、渗氮、感应淬火和渗碳淬火热处理工艺，几种热处理方式各有优缺点，其主要的优缺点见表 11-1。

表 11-1　内齿圈几种热处理方式对比

	调质	感应淬火	渗氮	渗碳淬火
优点	工艺成熟，成本低，生产周期短	生产成本较低，周期较短，承载能力适中	变形小，承载能力较强	承载能力强，尺寸小
缺点	承载能力低，尺寸大	淬火开裂难以控制，存在齿根残余拉应力，硬化层过渡区薄弱，工艺稳定性差	蛋壳效应，层深一般不超过 1mm，深层渗氮生产周期长，不太适合模数大于 10mm 的齿轮	淬火变形大且影响因素复杂，生产周期长，成本高

由于多数内齿圈属于大型薄壁件，采用渗碳淬火工艺时，变形大且不易控制，技术难度最高，一般企业需经过较长时间摸索才能掌握。感应淬火工艺具有明显成本和生产周期优势，是以后的发展方向之一，但工艺稳定性差、淬火开裂趋势明显，可以通过采用进口机床、逐步探索工艺等途径加以改善，但应充分注意齿根残余拉应力对齿轮弯曲强度的不利影响。内齿圈通常采用插齿或铣齿作为制齿手段。插齿效率较低，而且一般对螺旋角有限制。

大型数控成形磨齿机具有自动化程度高、自动调心、自动测量、自动修形及稳定性高等优点，是齿轮齿形的终加工机床，齿轮精度可达到 3 ～ 5 级，但应注意易产生磨削裂纹和磨削烧蚀等。

齿轮的制齿质量尽管对齿轮的最终精度影响较小，但滚齿效率和轮齿齿根过渡曲线的几何形状和表面质量则取决于滚齿加工，因此，加工过程中仍应对滚刀的类型和精度予以充分重视。

轮齿喷丸强化是提高齿轮承载能力的一种重要方式，特别是对齿根表层的金属组织结构、残余压应力以及弯曲强度的提高十分明显，是大型重要齿轮加工的必备工序之一。喷丸机床及喷丸工艺（丸粒大小、形状、材料等）对齿轮的承载能力会产生显著影响，目前这方面的研究尚需进一步完善。

齿轮测量机、刀具测量中心和各种齿轮量仪也是齿轮质量的重要保证。齿轮倒角机、清洗机等辅助装备对提高齿轮箱质量和产能也有重要的影响。

2）箱体类加工机床。齿轮箱箱体类零件主要包括箱体和行星架等。由于齿轮精度随着磨齿机加工精度的提高而已经提高到相当高的精度，因此，高端齿轮箱的精度在很大程度上取决于箱体加工精度和装配精度。齿轮箱常见的故障，如漏油、偏载、轴承温度过高和振动噪声过大等，很多是因箱体精度偏低和装配质量较差引起的。

大型齿轮箱箱体大部分为分体结构。为保证精度，箱体有时需采用组合方式加工。一般采用数控落地铣镗床、大型卧式加工中心、龙门加工中心等，加工精度要求较高。

加工刀具的优劣对提高加工效率和加工质量也有重要影响。

箱体的精度检验多采用大型三坐标测量机等。

3）试验测试装置。各类齿轮箱试验台也是齿轮产品生产过程中必不可少的装备。通常应满足产品的空载、满负荷、变负荷及超速、超载等形式试验要求。

近年来，我国进口了世界上大多数最先进的齿轮加工、热处理等装备，但我国齿轮进出口贸易逆差仍逐年加大，高端产品仍依赖进口。从这方面来讲，大的投资不等于产品质量和创新能力的提高。除加大投资外，尚需解决以下问题：①创新能力薄弱。很多企业尚未建起独立的研发体系，自主研制的产品较少，新产品研发周期较长，即使一些比较大的企业，在引进技术的消化吸收上和自主创新上仍与国际知名企业存在很大差距。我国目前的状态与日本几十年前的情况类似。日本也仿造发达国家的产品，但是它们每进口一台设备，就会充分地消化吸收，自己生产出第二台，韩国也是如此。而我国齿轮行业即使是有限的各种资源也较为分散，大家各扫门前雪，甚至相互封闭，仍以风电齿轮箱为例，各企业重复引进，成了国外新技术、新产品的试验场，消化不良延缓了新产品的研发和生产。②工艺水平落后。尽管我国进口了很多世界顶级装备，但对这些设备功能的消化、吸收、再创新并不到位，没有达到应有效果，用顶级的设备不能生产出国际同等水平的产品。③一些中小齿轮企业检测、试验手段落后，有些企业甚至没有像样的检测、试验设备，难以鉴别、鉴定产品的性能和质量，更无法实现产品的创新。

附　录

附录 A　全国齿轮行业主要经济指标统计

1. 齿轮行业高速发展

齿轮行业是我国所有生产齿轮产品的企业的总称。齿轮产品包括：各种齿轮、蜗轮以及由齿轮、蜗轮组成的各种减速器、增速器、车辆后桥、齿轮泵等传递运动、动力或输送介质等的机械设备和装置。

“十一五”期间，在汽车、风电、高铁、工程机械等产业快速发展的拉动下，我国齿轮产业得到了高速发展。表 A-1 为中国机械通用零部件工业协会统计的 2006 — 2011 年齿轮行业销售额数据。图 A-1 所示为 2006 — 2011 年齿轮行业销售额及增长率。从图 A-1 中可以更直观地看出，齿轮行业在 2006 年的销售额为 680 亿元；到 2011 年，齿轮行业总体销售额达到 1 780 亿元，同比增长 23%。除 2008 年销售额增长率为 7% 外，近年来的增长率均在 20% 以上。齿轮行业已成为我国机械基础件中规模最大的行业。

表 A-1　2006 — 2011 年齿轮行业销售额

年度	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
年销售额 / 亿元	680	878	945	1 206	1 450	1 780

注：数据来自中国机械通用零部件工业协会。

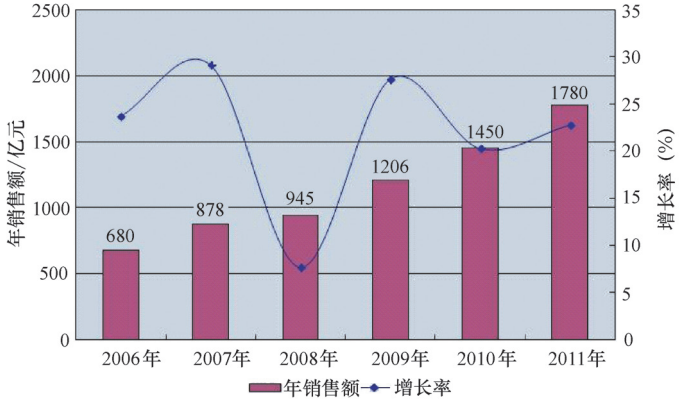


图 A-1　2006 — 2011 年齿轮行业销售额及增长率

2011 年，工业和信息化部发布了《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》（简称《三基规划》）。根据《三基规划》，“十二五”期间我国齿轮行业发展指标为：2010 年齿轮销售额为 1 450 亿元，到 2015 年达到 2 940 亿元，年增长率为 15%。我国齿轮行业仍有广阔的发展前景。

2. 齿轮行业进出口情况

表 A-2 为 2006 — 2011 年齿轮行业进出口额数据。图 A-2 所示为 2006 — 2011 年齿轮行业进出口情况图，从图中可以看出我国齿轮产品出口额逐年增长，体现了我国齿轮产品设计制造水平的提高。但出口额增长的同时进口额也在不断增多，齿轮行业存在严重的贸易逆差，且逆差额仍在不断扩大。这是因为我国齿轮产品总体上还不能满足重点工程装备的配套要求，汽车自动变速器、高铁驱动单元、大型能源装备齿轮传动装置等高端产品大量依赖进口。一方面，我国齿轮产品出口能力还有非常大的提升空间；从另一个角度看，我国已经成为世界齿轮制造大国，但离制造强国还有很大差距。

表 A-2　2006 — 2011 年齿轮行业进出口额

（单位：亿美元）

年度	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
进口额	33.70	50.62	65	72.6	106.1	124.9
出口额	7.74	11.94	20.2	17.14	27.2	38.4
逆差额	25.96	38.68	44.8	55.46	78.9	86.5

注：数据来自中国机械通用零部件工业协会。

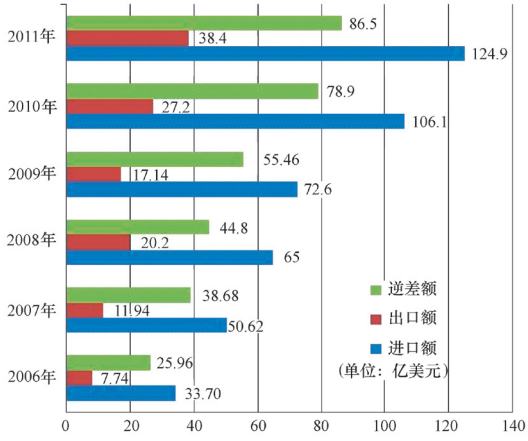


图 A-2　2006 — 2011 年齿轮行业进出口情况

3. 不同规模齿轮企业的销售额

表 A-3 中给出了 2009 年、2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模企业的销售额。如图 A-3 所示，2010 年 1—11 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造行业中，大型企业销售额所占份额为 7.97%，中型企业销售额所占份额为 30.05%，小型企业销售额所占份额为 61.98%；三类企业中，小型企业的销售规模最大，大型企业的销售规模最小。与 2009 年 1—11 月相比，2010 年 1—11 月大型企业销售额所占比例提高 2.66 个百分点，中型企业销售额比例下降 2.31 个百分点，小型企业销售额比例下降 0.36 个百分点。从增长速度上看，大型企业增长最快，中型企业增长最慢。

表 A-3　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同规模企业的销售额

单位规模	2009 年 1—11 月		2010 年 1—11 月	
	收入 / 亿元	同比增长率（%）	收入 / 亿元	同比增长率（%）
大型企业	40.468	9.93	80.072	40.47
中型企业	246.728	-1.55	301.898	27.29
小型企业	475.307	22.95	622.651	28.31

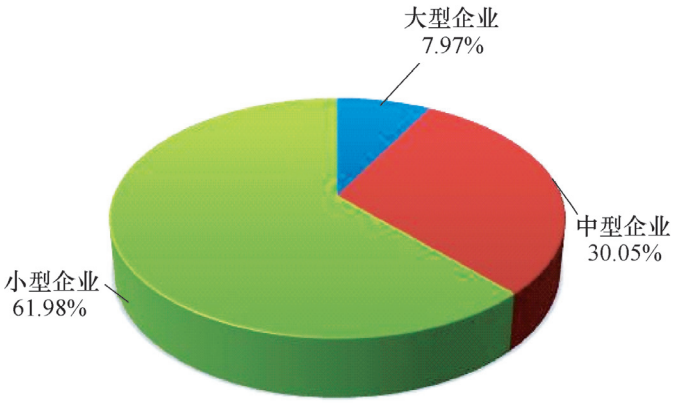


图 A-3　2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模齿轮企业销售收入情况

2011 年 1—9 月齿轮制造业不同规模企业的销售额见表 A-4。2011 年 1—9 月齿轮制造业不同规模齿轮企业销售收入情况如图 A-4 所示。

表 A-4　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同规模企业的销售额

单位规模	2011 年 1—9 月	
	收入 / 亿元	同比增长率（%）
大型企业	67.486	-11.19
中型企业	300.805	23.16
小型企业	528.440	35.18

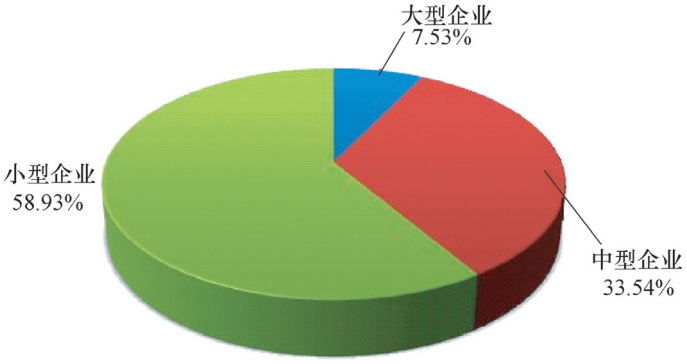


图 A-4　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同规模齿轮企业销售收入情况

4. 不同所有制齿轮企业的销售额

2010 年 1—11 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造业不同所有制企业中，销售规模最大的企业类型是私营企业，占总销售额的 43.62%，其次是其他所有制企业，所占比例为 25.82%，销售规模最小的是股份合作制企业，所占比例仅为 0.52%。从增长速度上看，集体企业销售增长最快，其次是其他所有制企业，增长速度最慢的是股份合作制企业。从销售额构成变化来看，2010 年 1—11 月与 2009 年 1—11 月相比，私营企业销售额所占比例下降 0.88 个百分点，其他所有制企业所占比例提高 2.36 个百分点。

2009 年、2010 年 1—11 月齿轮制造业不同所有制企业销售额见表 A-5。2010 年 1—11 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况如图 A-5 所示。

表 A-5　2009 年、2010 年 1—11 月齿轮制造业不同所有制企业销售额

单位性质	2009 年 1—11 月		2010 年 1—11 月	
	收入 / 亿元	同比增长率（%）	收入 / 亿元	同比增长率（%）
国有企业	34.090	17.80	38.144	25.81
集体企业	10.937	-6.70	13.805	35.96
股份合作制企业	5.894	20.04	5.180	12.64
股份制企业	32.694	13.29	46.390	31.21
私营企业	339.300	19.07	438.180	30.22
外商和港澳台企业	160.714	-1.08	203.532	22.38
其他所有制企业	178.874	17.56	259.389	32.19

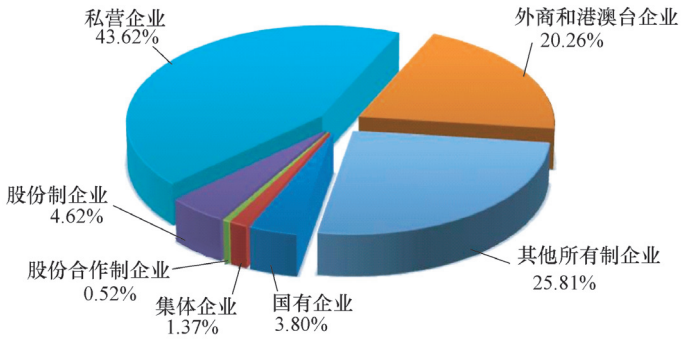


图 A-5　2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况

2011 年 1—9 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造业不同所有制企业中，销售规模最大的企业类型是私营企业，占总销售额的 43.84%，其次是其他所有制企业，占 25.89%，销售规模最小的是股份合作制企业，仅占 0.43%，2011 年 1—9 月齿轮制造业不同所有制企业销售额见表 A-6，2011 年 1—9 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况见图 A-6。

表 A-6　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同所有制企业销售额

单位性质	2011 年 1—9 月	
	收入 / 亿元	同比增长率（%）
国有企业	23.299	20.74
集体企业	12.612	42.59
股份合作制企业	3.867	24.77
股份制企业	41.360	23.97
私营企业	393.103	22.59
外商和港澳台企业	190.291	23.55
其他所有制企业	232.198	23.39

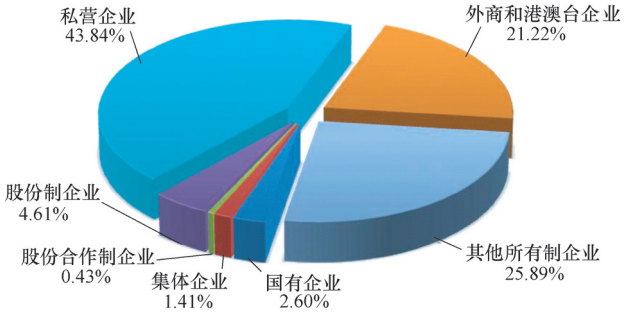


图 A-6　2011 年 1 — 9 月齿轮制造业不同所有制企业销售收入情况

5.　齿轮行业利润规模

2010 年 1—11 月，齿轮、传动和驱动部件制造业利润总额达到 83.675 亿元，同比增长 59.73%，高于工业平均水平（增长 49.35%）。

2011 年 1—9 月，齿轮、传动和驱动部件制造业利润总额达到 70.170 亿元，同比增长 13.58%，低于工业平均水平（增长 26.97%）见表 A-7。

表 A-7　2007 — 2011 年齿轮制造业利润总额

	2007 年 1—11 月	2008 年 1—11 月	2009 年 1—11 月	2010 年 1—11 月	2011 年 1—9 月
利润总额 / 亿元	27.178	34.114	50.798	83.675	70.170
同比增长率(%)	55.26	30.43	10.84	59.73	13.58

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业利润总额四年间平均增长速度达到了 39.06%，高于工业四年平均增长速度（增长 24.83%），表明齿轮行业在 2007—2010 年的盈利状况比较好。

2007—2010 年，行业利润增长呈现先减速后回升的趋势。2008 年利润增长幅度比 2007 年下降 24.83 个百分点，2009 年利润增幅比 2008 年下降 19.59 个百分点，2010 年增幅比 2009 年提高 48.89 个百分点，如图 A-7 所示。

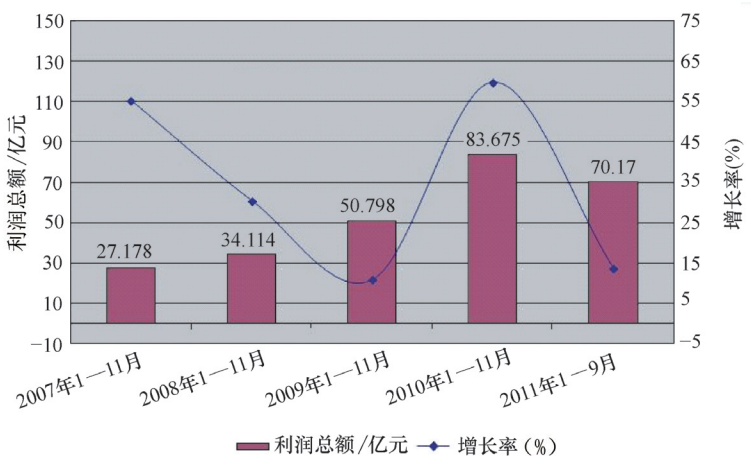


图 A-7　2007—2010 年齿轮、传动和驱动部件制造业利润总额及增长率

2010 年 1—11 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造行业中，大型企业利润占 3.74%，中型企业利润占 42.35%，小型企业利润占 53.91%；三类企业中，利润规模最大的是小型企业，利润规模最小的是大型企业。从增长速度上看，大型企业利润增长最快，小型企业增长最慢。从利润总额构成变化来看，2010 年 1—11 月与 2009 年 1—11 月相比，大型企业利润所占比例提高了 1.27 个百分点；中型企业利润所占比例提高了 3.30 个百分点，小型企业利润所占比例下降了 4.57 个百分点。2009 年、2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模企业利润总额见表 A-8，2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模齿轮企业利润总额见图 A-8。

表 A-8　2009 年、2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模企业利润总额

单位规模	2009 年 1—11 月		2010 年 1—11 月	
	利润 / 万元	同比增长率（%）	利润 / 万元	同比增长率（%）
大型企业	12 515.7	47.14	31 274.3	122.78
中型企业	198 371.8	3.52	354 330.9	81.62
小型企业	297 090.7	15.07	451 139.9	43.36

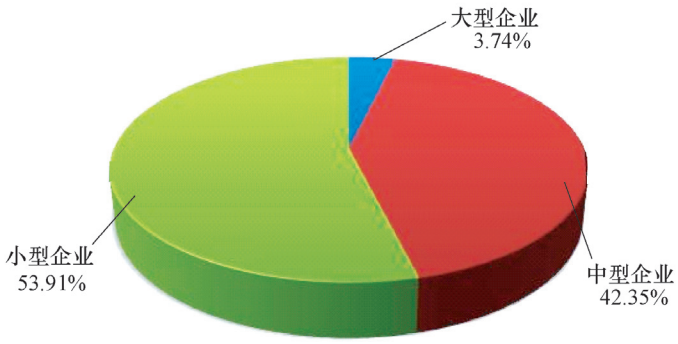


图 A-8　2010 年 1—11 月齿轮制造业不同规模齿轮企业利润总额

2011 年 1—9 月，大型企业利润总额占行业总利润额的 11.62%，中型企业占 37.00%，小型企业占 51.37%，具体情况表 A-9、图 A-9。

表 A-9　2011 年 1—9 月齿轮制造业不同规模企业利润总额

单位规模	2011 年 1—9 月	
	利润 / 万元	同比增长率（%）
大型企业	81 571.1	-25.19
中型企业	259 655.1	9.25
小型企业	360 476.4	32.96

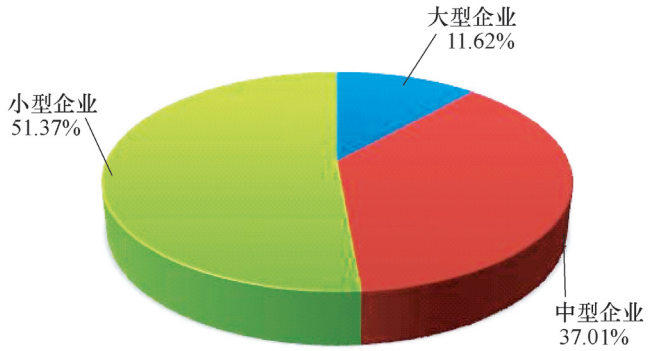


图 A-9　2011 年 1—9 月齿轮制造业不同规模齿轮企业利润总额

2010 年 1—11 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造业不同所有制企业中，所有类型企业都处于盈利状态；利润规模最大的企业类型是私营企业，处于第二

位的是外商和港澳台企业，利润规模最小的是股份合作制企业。从增长速度来看，股份制企业利润增长速度最快，其次是其他所有制企业，利润增长速度最慢的是股份合作制企业，见表 A-10。

表 A-10　2009 年、2010 年 1 — 11 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额

单位性质	2009 年 1—11 月		2010 年 1—11 月	
	利润 / 万元	同比增长率（%）	利润 / 万元	同比增长率（%）
国有企业	7 194.0	-20.79	9 635.1	63.15
集体企业	5 770.2	-11.68	9 746.7	70.92
股份合作制企业	2 091.5	30.30	1 658.3	-3.88
股份制企业	23 977.7	32.79	44 763.9	82.39
私营企业	188 480.4	27.62	259 319.2	36.42
外商和港澳台企业	139 270.0	-19.54	256 014.4	69.06
其他所有制企业	141 194.4	38.08	255 607.5	76.96

2011 年 1—9 月，我国齿轮、传动和驱动部件制造业不同所有制企业中，所有类型企业都处于盈利状态；利润规模最大的企业类型是私营企业，处于第二位的是外商和港澳台企业，利润规模最小的是股份合作制企业。从增长速度来看，集体企业利润增长速度最快，其次是私营企业，利润增长速度最慢的是其他所有制企业，见表 A-11、图 A-10。

表 A-11　2011 年 1—9 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额

单位性质	2011 年 1—9 月	
	利润 / 万元	同比增长率（%）
国有企业	6 827.1	16.76
集体企业	8 634.2	43.88
股份合作制企业	1 140.2	11.96
股份制企业	44 350.3	25.53
私营企业	250 049.1	42.80
外商和港澳台企业	204 130.4	-0.54
其他所有制企业	186 572.2	-1.43

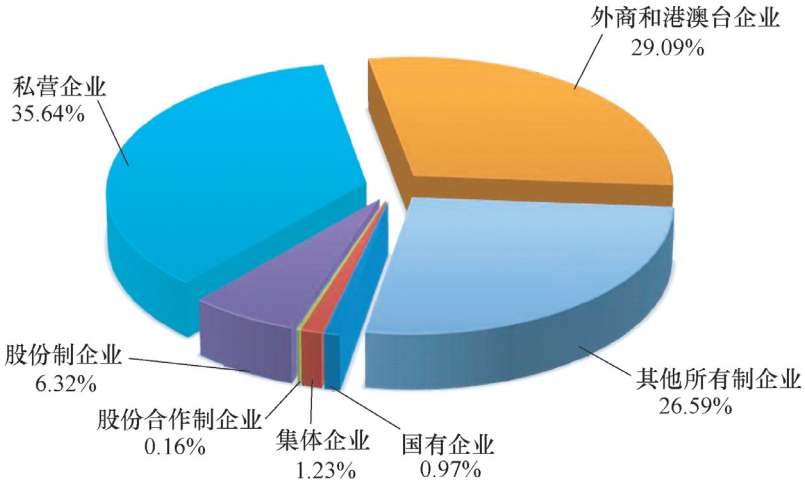


图 A-10　2011 年 1—9 月齿轮制造业不同所有制企业利润总额

6. 齿轮制造企业的资产规模

截至 2010 年 11 月底，我国齿轮、传动和驱动部件制造业总资产达到 891.196 亿元，同比增长 25.36%，增幅高于工业平均水平（增长 19.70%）。行业资产增长速度较快。

截至 2011 年 11 月底，我国齿轮、传动和驱动部件制造业总资产达到 910.742 亿元，同比增长 26.50%，增幅高于工业平均水平（增长 20.42%），见表 A-12。

表 A-12　2007—2011 年齿轮制造业资产总额

	2007 年 11 月	2008 年 11 月	2009 年 11 月	2010 年 11 月	2011 年 9 月
总资产 / 亿元	403.132	479.537	684.526	891.196	910.742
同比增长率(%)	31.16	21.56	17.29	25.36	26.50

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业总资产四年间平均增长速度为 23.84%，高于工业四年平均增长速度（增长 17.88%），表明行业 2007—2010 年总体资产增长速度较快。从资产增长幅度变化来看，2008 年资产增长幅度比 2007 年下降 9.60 个百分点，2009 年资产增幅比 2008 年下降 4.27 个百分点，2010 年增幅比 2009 年提高 8.07 个百分点，见图 A-11。

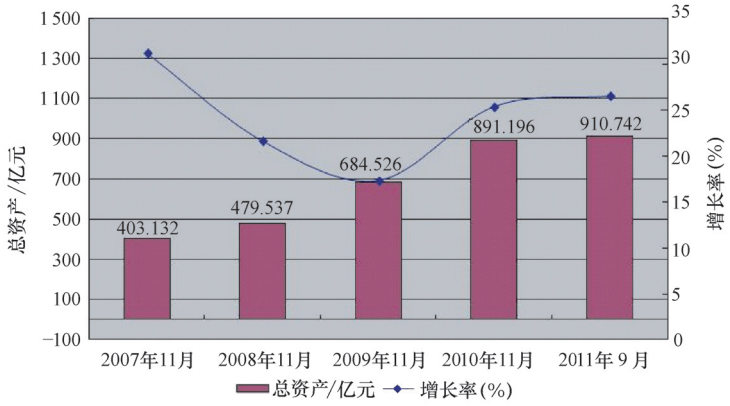


图 A-11　2007—2011 年齿轮制造业总资产及增长率

截至 2011 年 9 月底，我国齿轮、传动和驱动部件制造行业中，大型企业资产所占行业总资产比例为 17.27%，中型企业资产所占比例为 42.42%，小型企业资产所占比例为 40.31%；三类企业中，资产规模最大的是中型企业，资产规模最小的是大型企业。从增长速度来看，大型企业资产增长速度最快，中型企业增长最慢，见表 A-13、图 A-12。

表 A-13　截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同规模企业总资产

单位规模	2011 年 9 月	
	资产 / 亿元	同比增长率（%）
大型企业	157.262	29.11
中型企业	386.394	24.66
小型企业	367.086	27.39

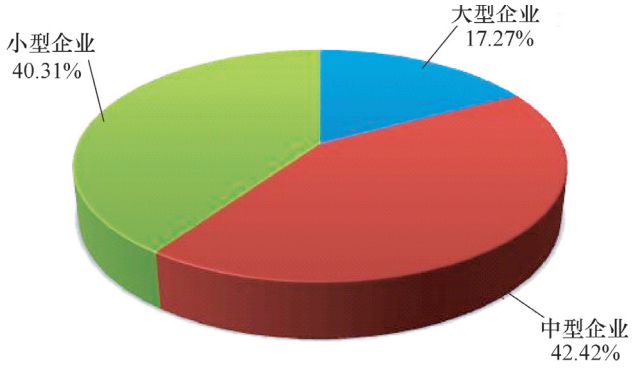


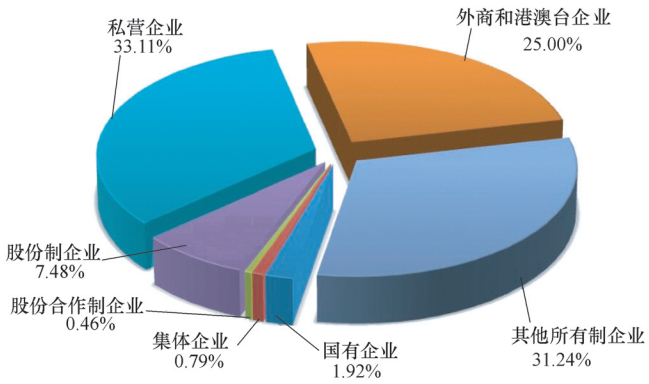
图 A-12　截至 2011 年 9 月底齿轮制造业不同规模企业总资产

截至 2011 年 9 月底，我国齿轮、传动和驱动部件制造业不同所有制企业类

型中，资产规模最大的企业类型是私营企业，所占行业总资产比例为33.11%，其次是其他所有制企业，所占比例为31.24%，资产规模最小的是股份合作制企业，仅占0.46%。从增长速度来看，股份合作制企业资产增长速度最快，其次是私营企业，增长速度最慢的是集体企业，见表A-14、图A-13。

表A-14　截至2011年9月底齿轮制造业不同所有制企业总资产

单位性质	2011年9月	
	资产/亿元	同比增长率（%）
国有企业	17.526	8.61
集体企业	7.205	6.25
股份合作制企业	4.197	37.67
股份制企业	68.132	19.75
私营企业	301.509	29.43
外商和港澳台企业	227.660	25.82
其他所有制企业	284.513	27.48



图A-13　截至2011年9月底齿轮制造业不同所有制企业总资产

7. 齿轮制造企业的盈利能力

表A-15所列为2007—2011年齿轮制造业亏损面数据。2007—2010年，行业平均亏损面为12.04%。截至2011年9月底，齿轮、传动和驱动部件制造业共有规模以上企业900家，其中亏损企业有62家，亏损面达到6.89%。

表 A-15　2007—2011 年齿轮制造业亏损面

	2007 年 11 月	2008 年 11 月	2009 年 11 月	2010 年 11 月	2011 年 9 月
企业总数	863	968	1275	1338	900
亏损企业数	93	146	188	101	62
亏损面	10.78%	15.08%	14.75%	7.55%	6.89%

2011 年 1—9 月，亏损企业亏损总额同比提高了 57.80%，表明 2011 年 1—9 月行业竞争形势比 2010 年同期趋于恶化，见表 A-16。

表 A-16　2007—2011 年齿轮制造业亏损企业亏损总额

	2007 年 1—11 月	2008 年 1—11 月	2009 年 1—11 月	2010 年 1—11 月	2011 年 1—9 月
亏损企业亏损总额 / 亿元	1.524	1.707	2.536	1.198	0.934
同比增长率(%)	24.33	8.38	31.20	-48.94	57.80
平均亏损额 /（亿元 / 家）	0.016	0.012	0.013	0.012	0.015

8. 齿轮制造业成本费用率

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业销售毛利率四年间平均值为 16.10%，高于工业四年平均水平（14.87%），表明行业 2007—2010 年获取毛利润的能力强于工业平均水平。

2007—2010 年，行业销售毛利率呈现波动起伏趋势。2008 年销售毛利率为 15.05%，比 2007 年的 15.95% 降低了 0.90%；2009 年销售毛利率为 16.79%，比 2008 年增加 1.74%；2010 年销售毛利率为 16.62%，比 2009 年降低了 0.17%，见图 A-14。

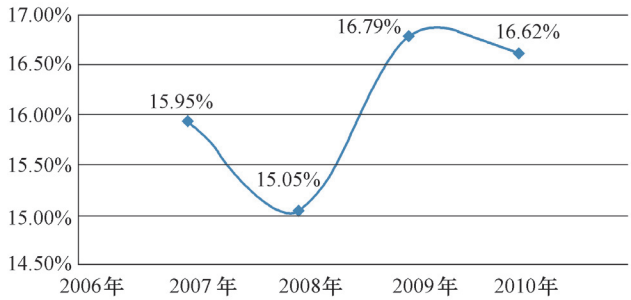


图 A-14　2007 — 2010 年齿轮制造业销售毛利率趋势图

2011 年 1—9 月，行业销售毛利率为 16.38%，低于上年同期水平，说明行业

获取毛利润的能力有所下降。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业销售成本率四年间平均值为 83.90%，低于工业四年平均水平（85.13%）。2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业销售费用率四年平均值为 2.55%，管理费用率均值为 4.70%，财务费用率均值为 1.08%，由此三项费用率均值为 8.32%，高于工业四年平均水平（7.28%）。该行业呈现出成本投入比例相对较低、费用支出比例相对较高的特点，见表 A-17。

2011 年 1—9 月，行业销售成本率为 83.62%，高于上年同期水平，说明获取单位收入所支出的成本上升；行业三项费用率为 7.81%，高于上年同期水平，说明获取单位收入所支出的费用上升。

表 A-17　2007 — 2011 年齿轮制造业成本费用率

	2007 年 1—11 月	2008 年 1—11 月	2009 年 1—11 月	2010 年 1—11 月	2011 年 1—9 月
销售成本率(%)	84.05	84.95	83.21	83.38	83.62
销售费用率(%)	2.81	2.92	2.23	2.23	2.25
管理费用率(%)	5.00	4.73	4.62	4.45	4.47
财务费用率(%)	1.17	1.12	1.10	0.90	1.09
三项费用比率(%)	8.99	8.76	7.96	7.58	7.81

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业成本费用利润率四年平均值为 7.39%，高于工业四年平均水平（6.39%），反映出单位成本费用支出所带来的利润高于工业平均水平，见图 A-15。

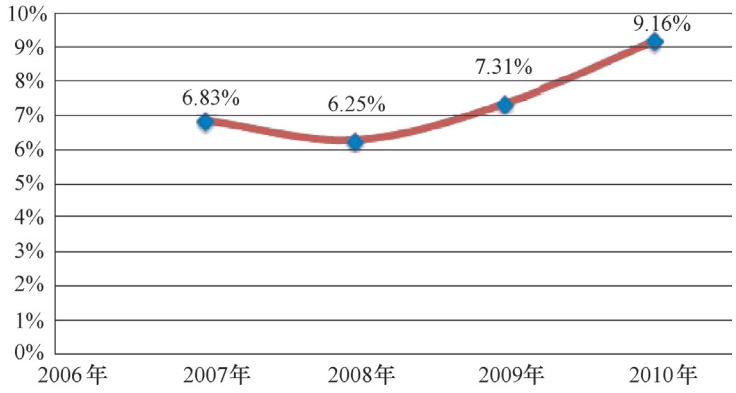


图 A-15　2007 — 2010 年齿轮制造业成本费用利润率

2011 年 1—9 月，行业成本费用利润率为 8.56%，低于上年同期水平，反映

出单位成本费用支出所带来的利润下降。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业销售利润率四年平均值为 6.80%，高于工业四年平均水平（5.91%），说明行业综合盈利能力较强，高于工业平均水平。

2007—2010 年，行业销售利润率呈现先下降后回升走势。2008 年销售利润率为 5.86%，比 2007 年的 6.35% 降低 0.49 个百分点；2009 年销售利润率为 6.66%，比 2008 年增加 0.80 个百分点；2010 年销售利润率为 8.33%，比 2009 年增加 1.67 个百分点，见图 A-16。

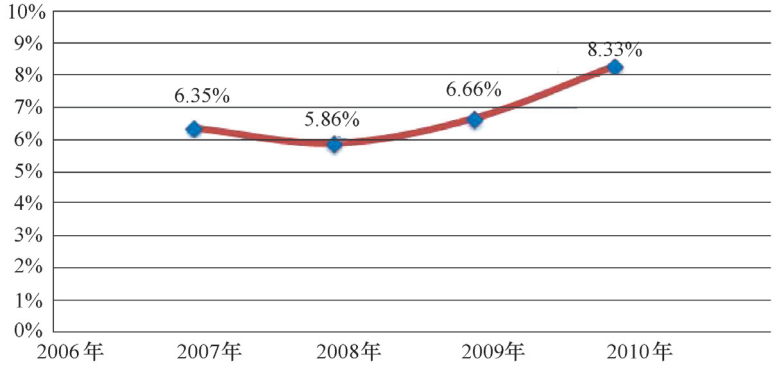


图 A-16　2007—2010 年齿轮制造业销售利润率

2011 年 1—9 月，行业销售利润率为 7.83%，低于上年同期水平，反映出行业综合盈利能力比上年同期有所下降。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业应收账款周转率（次数）四年平均值为 6.817 次，低于工业四年平均水平（13.450 次），说明行业应收账款回收速度较慢，应收账款占有资金的风险高于工业平均水平。与 2007 年相比，2010 年行业应收账款周转率有所提高，表明行业平均收账周期有所缩短，坏账风险下降，见图 A-17。

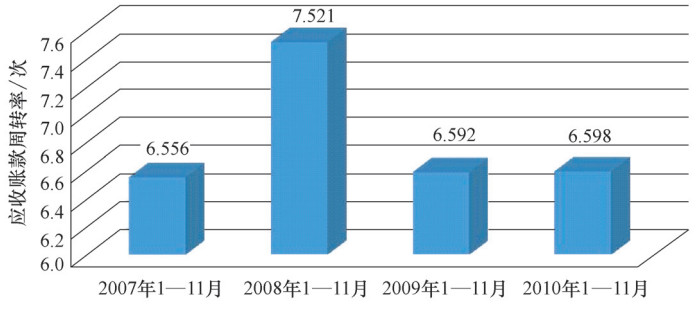


图 A-17　2007—2010 年齿轮制造业应收账款周转率对比图

2011 年 1—9 月，行业应收账款周转次数为 5.778 次，高于上年同期水平，说明行业应收账款周转速度比上年同期有所提高。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业流动资产周转率四年平均值为 2.071 次，低于工业四年平均水平（3.367 次），说明行业流动资产周转速度较慢，流动资产占有资金的风险高于工业平均水平。与 2007 年相比，2010 年行业流动资产周转率有所下降，表明行业流动资产周转速度有所放慢，流动资产运营效率有所下降，见图 A-18。

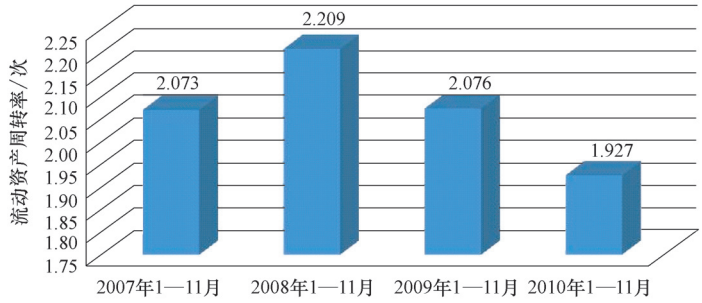


图 A-18　2007—2010 年齿轮制造业流动资产周转率对比图

2011 年 1—9 月，行业流动资产周转次数为 1.650 次，低于上年同期水平，说明行业流动资产周转速度比上年同期有所下降。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业总资产周转率四年平均值为 1.129 次，低于工业四年平均水平（1.144 次），说明行业总资产周转速度较慢。与 2007 年相比，2010 年行业总资产周转率有所提高，表明行业总资产周转速度有所加快，总资产运营效率有所提升，见图 A-19。

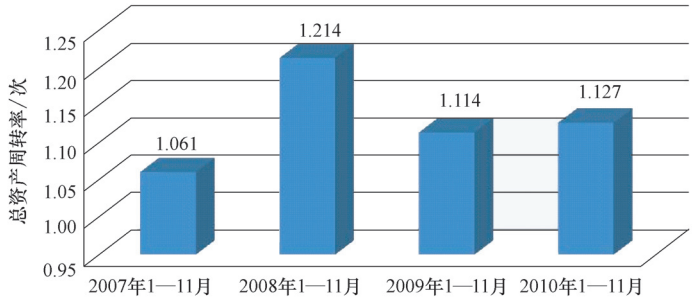


图 A-19　2007—2010 年齿轮制造业总资产周转率对比图

2011 年 1—9 月，行业总资产周转次数为 0.985 次，低于上年同期水平，说明行业总资产周转速度比上年同期有所下降。

2007—2010 年，齿轮、传动和驱动部件制造业资产负债率四年平均值为 57.9%，低于工业平均水平（58.88%），行业整体负债程度比较适中，偿债风险并不高，安全性较好。与 2007 年相比，2010 年行业资产负债率有所下降，见图 A-20。

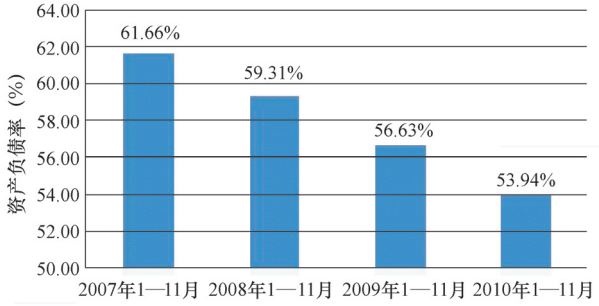


图 A-20　2007—2010 年齿轮制造业资产负债率对比图

2011 年 1—9 月，行业资产负债率为 52.66%，高于上年同期水平，表明行业有扩大举债进行投资扩张的冲动。

附录 B “十一五”期间我国齿轮产品进出口情况及分析

1. 齿轮产品进出口情况

随着国民经济的高速发展，特别是汽车、工程机械、农业机械及风电等产业的拉动，我国齿轮行业在“十一五”期间（2006—2010 年）得到了快速发展，产品门类齐全，广泛应用于航空船舶、兵器装备、汽车、摩托车、农机、机床工具、工程机械、轨道交通、水泥建筑、起重运输、矿山冶金、电力能源、石油化工和仪器仪表等 20 多个领域，形成了独立完整的工业体系，行业骨干企业初步具备了全新产品开发能力，为振兴装备制造业作出了重要贡献。整个行业的工业总产值逐年增加，且同比增幅均在 20% 以上。由于全球金融危机和经济衰退等客观因素的影响，齿轮行业的增长速度相对变慢，但是总产值仍旧保持大幅增长。

根据国家统计局及相关机构公布的数据，2005—2010 年我国齿轮行业的工业总产值逐年增加，且同比增幅均在 20% 以上，2010 年整个齿轮产业实现工业总产值 946.35 亿元，齿轮全行业市场需求超过 1 400 亿元，世界排名第三。从规模和销售额等各方面因素来看，齿轮产业已成为我国机械通用零部件领域的“领军”级行业，我国已经成为名副其实的世界齿轮制造大国。然而，与发达国家相比，我国齿轮行业总体规模仍较小、人均劳动生产率低，产品质量、产品设计、工艺开发、制造装备和检测试验等综合技术水平仅相当于发达国家 20 世纪 90 年代中后期水平，主要处于产业链的中低端，多数企业的技术创新能力薄弱，不少核心技术和关键装备依赖进口。一方面，中低端产品产能过剩，同质化恶性竞争，效益低；另一方面，高端产品能力不足，汽车、工程机械、高速铁路、煤机和大型农机等的高端齿轮传动装置大量依赖进口，且进出口逆差逐年加大，高端产品受制于人。所以，我国还不是齿轮制造强国，根本原因在于行业自主创新能力薄弱，关键齿轮产品的设计技术不过关，产品的可靠性较低，使得国内汽车、工程机械、重型机械和重点工程的配套用齿轮减（变）速器的进口量大幅度增加。

我国齿轮产品“十一五”期间的进出口总体情况是有进有出，但不容乐观的是，

进口远多于出口，2009 年我国共进口各类齿轮产品 72.6 亿美元，出口 17.14 亿美元，逆差额达到 55.46 亿美元。2010 年，齿轮及传动系统行业实现销售额 1450 亿元，同比增长 20%，共进口各类齿轮产品 106.1 亿美元，增长 46.1%，出口 27.2 亿美元，增长 58.6%，其中进口量最大的产品是汽车自动变速器，2009 年占全行业进口额的近一半。虽然出口的增长稍大于进口的增长，但是由于进口基数的庞大，逆差还是高达近 80 亿美元。2010 年齿轮行业重点骨干企业销售额又有大幅增长。陕西法士特汽车传动集团有限公司销售收入达到 126.18 亿元，增幅 67.3%；南京高精传动设备制造有限公司销售额达到 120 亿元，增幅 46.3%，是齿轮行业产销首超百亿元的两家企业。由此可以判断，我国齿轮行业存在严重逆差，出口能力还有非常大的提升空间。2011 年，我国齿轮产品出口为38.4亿美元，增长41.2%。2006—2010年我国机械通用零部件进出口和“十一五”期间我国齿轮产品进出口具体数据分别详见表 B-1、表 B-2。

表 B-1　2006—2010 年我国机械通用零部件行业进出口比较

（单位：亿美元）

	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
出口额	42.6	56.7	75.9	53.9	76.3
进口额	59.7	79.5	100.1	106.6	145.9
逆差额	17.1	22.8	24.2	52.7	69.6

注：数据来自中国机械通用零部件工业协会。

表 B-2　“十一五”期间我国齿轮产品进出口一览表

年份	进口额 / 亿美元	同比增长率（%）	出口额 / 亿美元	同比增长率（%）	逆差额 / 亿美元	同比增长率（%）
2006	33.70	-	25.96	-	7.74	-
2007	50.62	50.2	11.94	-54	38.68	400
2008	65.00	28.4	20.20	69.2	44.80	15.8
2009	72.6	11.7	17.14	-15	55.46	23.8
2010	106.1	46.1	27.2	58.6	78.9	42.3

注：资料来自《中国齿轮工业年鉴》2010 年版。

2. 齿轮产品进口分析

齿轮产品的进口从 2006 年的 33.7 亿美元增长到 2010 年的 106.1 亿美元，

增幅为3.2倍；由于齿轮进口量逐年增长较快，行业贸易逆差不断加大，已从2006年的7.74亿美元扩大到2010年的78.9亿美元。

从“十一五”期间进口的齿轮产品来看，进口额最大的是小轿车自动变速器，超过25亿美元，占当年我国齿轮进口总额的49.4%。各种车辆齿轮合计占到我国齿轮进口总额的60%。

产品贸易逆差较大且呈逐渐增高之势，自动变速器受制于人。2006年，我国进口齿轮产品33.7亿美元，其中进口自动变速器16.37亿美元；2010年进口总额106.1亿美元，自动变速器达到52.25亿美元，均为50%左右。美、德、日、韩等国在垄断市场后，还要求与之配套的变速器使用国外产品，这就限制了我国自动变速器的发展，也是造成贸易逆差很重要的原因。

从进口国别来看，2008年我国共从70多个国家和地区进口了齿轮产品，分布相当广泛，见表B-3。主要国家包括日本、德国、韩国和美国等。

表B-3　2008年我国齿轮产品进口主要国家和地区

国家和地区	日本	德国	韩国	美国	法国	其他
所占比例(%)	44.28	25.45	5.8	5.8	3.0	15.67

注：资料来自《中国齿轮工业年鉴》2010年版。

3. 齿轮产品出口分析

齿轮产品的出口从2005年的6.2亿美元增长到2010年的27.2亿美元，增幅为4.3倍。

从产品上看，出口以工业齿轮为主，各种车辆齿轮产品仅占很小比例，我国齿轮的出口仍以较低端的工业齿轮为主。

从出口企业的类别来看，外企所占比例最大，占31%，国企占28.7%，民企占21.4%，中外合资企业占12.7%，其他约占6.2%。

从产品出口国别来看，绝大多数产品都出口到发达国家或地区。其中，出口到美国占23.6%，日本占15.6%，意大利占7.9%。一些发达国家从我国进口低端产品，而复杂的高端产品则自己生产，它们利用我国廉价的劳动力和资源，把我国当做所需的低端齿轮产品的加工厂。

从生产区域来看，华东地区齿轮业发展最快，其产销额占到出口总量的52.8%，其他地区依次为华北地区占19.1%，西南地区占8.7%，华中地区占8.1%，西北地区占6.7%，东北地区占4.7%。

“十一五”期间齿轮生产企业销售及进出口情况见表 B-4。

表 B-4 “十一五”期间齿轮生产企业销售及进出口情况

年度	生产企业（家）		年销售额 / 亿元	进口额 / 亿美元	出口额 / 亿美元
	合计	重点企业			
2006	950	220	680	34.4	8.2
2007	950	220	878	50.5	11.5
2008	950	220	945	65	20.2
2009	950	230	1 206	72.6	17.14
2010	950	230	1 450	106.1	27.2

表 B-5 ～表 B-7 分别为 2008 年、2009 年和 2010 年齿轮产品进出口细目表。2008—2010 年进口产品中，小轿车用自动换挡变速器及其零件约占进口总额的一半，分别为 45.46%、51.28% 和 49.21%。

表 B-5 2008 年齿轮进出口细目表

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额 / 万美元	进口数量	进口金额 / 万美元
84834020	行星齿轮减速器	个	7 275 696	7 472.08	648 631	27 958.57
84834090	齿轮及其他变速、传动装置，滚珠螺杆	个	2.85×10^8	65 697.66	5.64×10^8	137 338.84
84839000	单独报验的带齿的轮等，84.83 货品的其他	kg	2.45×10^8	79 190.75	62 227 097	87 139.07
87084010	牵引车、拖拉机用变速器及其零件	个 或 kg	614 912	10 318.18	16 458	1786.1
87084020	30 座及以上机动客车用变速器及其零件	个 或 kg	252 228	1 161.06	9 273	6 713.31

（续）

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额/万美元	进口数量	进口金额/万美元
87084030	非公路用自卸车用变速器及其零件	个 或 kg	5 177	558.75	1 259	4 258.89
87084040	轻型柴油及汽油货车用变速器及其零件	个 或 kg	153 365	2 995.64	4 912	1 785.45
87084050	重型柴油货车用变速器及其零件	个 或 kg	222 752	8 921.87	7 946	2 903.28
87084060	品目87.05所列车辆用变速器及其零件	个 或 kg	5 682	963.01	2 664	3 439.31
87084091	小轿车用自动换挡变速器及其零件	个 或 kg	99 222	5 159.57	1 831 632	295 641.63
87084099	未列名机动车辆用变速器及其零件	个 或 kg	723 274	19 381.01	594 344	81 387.09
	合计			201 819.58		650 351.54

表 B-6　2009 年齿轮进出口细目表

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额/万美元	进口数量	进口金额/万美元
84834020	行星齿轮减速器	个	1 064 597	7 364.68	415 720	27075.1

（续）

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额/万美元	进口数量	进口金额/万美元
84834090	齿轮及其他变速、传动装置，滚珠螺杆	个	2.26×10^8	60 485.21	4.31×10^8	113 949.5
84839000	单独报验的带齿的轮等，84.83货品的其他	kg	1.83×10^8	64 301.14	65605144	86 330.86
87084010	牵引车、拖拉机用变速器及其零件	个或kg	236 224	8 773.12	11 001	1 444.77
87084020	30座及以上机动客车用变速器及其零件	个或kg	3 851	1 634.73	10 749	7 506.04
87084030	非公路用自卸车用变速器及其零件	个或kg	859	277.77	1 296	2 409.31
87084040	轻型柴油及汽油货车用变速器及其零件	个或kg	26 184	2 336.84	9 196	2 009.33
87084050	重型柴油货车用变速器及其零件	个或kg	12 201	3 642.41	1 664	822.21
87084060	品目87.05所列车辆用变速器及其零件	个或kg	3 229	937.31	1 763	2 378.69
87084091	小轿车用自动换挡变速器及其零件	个或kg	1 154 317	9 412.16	7 735 894	372 315.2

（续）

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额/万美元	进口数量	进口金额/万美元
87084099	未列名机动车辆用变速器及其零件	个或kg	100 876	12 288.95	4 496 712	109 758.1
	合计			171 454.3		725 999.2

表 B-7　2010 年齿轮进出口细目表

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额/万美元	进口数量	进口金额/万美元
84834020	行星齿轮减速器	个	1 511 629	9 575.42	694 402	40 856.38
84834090	齿轮及其他变速、传动装置，滚珠螺杆	个	301 957 693	85 476.41	457 222 074	140 898.7
84839000	单独报验的带齿的轮等，84.83货品的其他	kg	278 168 249	101 541.58	98 424 268	133 640.43
87084010	牵引车、拖拉机用变速器及其零件	个或kg	326 133	13 601.76	2 629	1 802.97
87084020	30座及以上机动客车用变速器及其零件	个或kg	2 966	1 272.93	7 585	7 496.69
87084030	非公路用自卸车用变速器及其零件	个或kg	938	385.54	1 038	3 101.84

（续）

商品代码	商品名称	单位	出口数量	出口金额 / 万美元	进口数量	进口金额 / 万美元
87084040	轻型柴油及汽油货车用变速器及其零件	个 或 kg	156 301	4 365.45	4 951	2 403.64
87084050	重型柴油货车用变速器及其零件	个 或 kg	13 123	5 912.64	2 682	1 727.31
87084060	品目87.05所列车辆用变速器及其零件	个 或 kg	4 598	1 036.49	1 768	2 253.75
87084091	小轿车用自动换挡变速器及其零件	个 或 kg	587 970	23 792.38	2 793 652	522 538.32
87084099	未列名机动车辆用变速器及其零件	个 或 kg	377 362	25 881.41	1 257 421	205 037.74
	合计			272 842.01		1 061 757.77

附录C　2030年我国齿轮技术路线图

1. 概论

齿轮传动是利用齿轮之间的啮合传递动力和运动的一种机械传动方式，广泛应用于航空航天、船舶、兵器、汽车、工程机械、冶金、建材、能源、石油化工及仪器仪表等领域。齿轮产品包括各种齿轮及由齿轮组成的各种减速器、增速器、车辆变速器和后桥、齿轮泵等传递运动、动力或输送介质等的机械部件和装置，是机械装备的重要基础件，其性能和可靠性决定了机械装备的性能和可靠性。

“十一五”期间，我国齿轮产业在汽车、风电、高铁、工程机械等产业快速发展的拉动下得到了迅速发展，齿轮产品的产销规模已经达到1 600亿元。齿轮行业已成为我国机械基础件中规模最大的行业之一，我国已经成为名副其实的世界齿轮制造大国，但离制造强国还有很大差距。目前，我国齿轮产品正经历从中低端向高端的转变，少数高端产品已达到国际先进水平。但总体而言，我国齿轮产品还不能满足重点工程装备的配套要求，高端产品仍受制于人，汽车自动变速器、高铁驱动单元、大型能源装备齿轮传动装置等高端产品大量依赖进口，进出口逆差仍在逐年加大。

同世界发达国家相比，我国齿轮产品设计制造主要存在以下问题：

（1）基础研究和基础数据匮乏　缺乏对齿轮材料的疲劳极限应力、金相组织图谱等相关的基础试验研究，缺乏新齿形研究、载荷谱测试、加工工艺研究等基础研究，使得产品设计和制造缺少数据支撑。另外，专业软件开发和应用滞后，多学科综合设计技术和手段落后。

（2）齿轮材料品质较低　齿轮材料与发达国家差距较大，主要表现在钢材的纯净度和均匀性低，含氧量、非金属夹杂物等较高；钢材淬透性波动大，淬透性带宽；高温高性能钢、低温抗冲击钢、快速渗氮钢、经济性大中模数钢以及高性能工程塑料等缺乏。

（3）齿轮热处理工艺水平不高　渗碳淬火变形大；感应淬火易出现齿根开裂；渗氮存在效率低、层深浅的问题，虽然稀土催渗取得了很好的效果，但仍具有较大局限性；缺乏有效的工艺过程控制方法。

（4）高级工艺装备差距明显　硬质合金刀具与发达国家差距大，高效滚齿刀具、干切削刀具、高级 CBN 刀具及磨齿用高档砂轮几乎全部进口；高效制齿机床、高档数控成形磨齿机等仍基本依赖进口；大型和小型齿轮量仪以及在位快速测量机仍是空白；大模数锥齿轮加工设备等核心装备国外完全实施技术封锁，仍受制于人。

（5）齿轮产品生产效率低，质量稳定性差　尽管我国进口了不少高档齿轮制造装备，但由于刀具和装备使用、制造工艺参数选择、生产管理等方面的差距，造成产品的质量稳定性差，生产效率低，能耗高。

（6）检测和评价服务能力亟待提高　国家齿轮产品质量监督检验中心的检测服务能力不足，齿轮行业许多新产品没有经过第三方检测、验证和评价，行业不能积累设计数据，直接影响齿轮行业整体设计水平和创新能力的提高。

（7）标准化工作亟待加强　我国齿轮行业因标准化投入少等原因，造成适用标准少，贯标率低，不能满足产业发展的需要。我国大多数齿轮标准从国外标准转化而来，基础数据缺乏验证，一些关键数据与国内技术水平不相适应。

未来 20 年，我国齿轮产品将逐步满足航空航天及武器装备、车辆与工程机械、能源装备、船舶及海洋工程装备、轨道交通、仪器仪表及机器人、冶金、矿山及建材设备等领域的需求，齿轮产业未来市场需求及产品，见表 C-1。

表 C-1　齿轮产业未来市场需求及产品

领域名称	市场需求	产品特点	技术发展趋势
航空航天及武器装备	航空航天的快速发展，将进一步扩大对高参数微小型齿轮传动装置的需求；低空的逐渐开放，直升机旋翼传动系统将有广阔的市场前景；新型坦克、装甲车及雷达回转系统等需要更可靠的齿轮传动产品	①太空的高真空、大温差、微重力环境对齿轮传动装置提出了苛刻的要求；②传动装置小型化、高精度、高可靠性；③解决微重力和大温差条件下的润滑问题	①高可靠性；②小型化、微型化；③功率分流及余度技术；④无润滑状态的可靠性
车辆与工程机械	未来汽车自动变速器、新能源汽车变速器、驱动桥、同步器、电动轮传动装置、工程机械齿轮减速器、盾构机行星驱动装置等齿轮产品有很大的市场需求	①驱动－传动－控制一体化；②高精度、高可靠性、低噪声；③盾构机行星驱动装置大转矩、耐高温	①驱动－传动－控制集成；②高效、低成本生产；③齿轮等零件近净成形

（续）

领域名称	市场需求	产品特点	技术发展趋势
能源装备	大型风电增速齿轮箱及偏航变桨减速器、光伏发电传动装置、百万千瓦级核电齿轮箱、超超临界发电机组齿轮调速装置、水电传动装置、煤气化传动装置等	①高可靠性、长寿命；②大功率、高功率密度；③服役环境恶劣、工况复杂；④机电液复合传动或行星分流传动	①单机功率越来越大；②高功率密度、高可靠性；③多行星轮均载传动；④润滑、冷却、密封可靠
船舶及海洋工程装备	军民用舰船发展潜力大，配套齿轮箱需求旺盛；海洋石油钻井平台齿轮齿条升降装置市场需求大	①大功率、大跨度传动；②复合传动；③特大模数齿轮齿条传动	①大功率、多余度技术；②减振降噪；③功率合流、分流
轨道交通	高速机车、轻轨客车及地铁机车齿轮驱动单元将立足国内制造，改变大量依赖进口的局面	①安装空间小、环境恶劣、结构紧凑；②轻合金箱体或耐低温球铁箱体，薄壁件多；③大功率、高速、重载齿轮箱，可靠性要求高	①轻量化设计制造；②薄壁件铸造、可靠密封；③高可靠性、高功率密度
仪器仪表及机器人	仪器仪表用小模数齿轮、塑料齿轮；工业机器人用谐波齿轮传动装置、高精度RV减速器；微飞行器用齿轮传动装置、医疗设备中的微小传动装置等	①塑料齿轮质量小、噪声低；②小型化、微型化；③小回差、大传动比	①高精度、高可靠性、小回差；②自润滑；③应用高强度塑料
冶金、矿山及建材设备	宽厚板轧机齿轮箱、大型提升减速机、大型水泥磨机分流减速器等是典型的低速重载齿轮产品，技术含量高	①大转矩、大冲击；②多数为低速重载传动；③长寿命、高可靠性	①高功率密度；②高可靠性；③功率分流技术

未来 10 ～ 20 年，齿轮产品将向着高精度、高功率密度、高可靠性、高效率、长寿命和低噪声等方向发展，齿轮设计制造将向着数字化、模块化、绿色化及智能化的方向发展，并日趋国际化。

齿轮产业的发展目标为：

1）建立国家级的齿轮基础技术和前沿技术研究、重要新产品研发、重大科技成果工程化、技术推广应用的创新和技术服务平台，推进我国齿轮传动技术的发展。

2）建立先进完善的齿轮标准化体系，2020 年齿轮标准化进入世界前五强，2030 年齿轮标准化进入世界前两强。

3）通过提高齿轮类零件近净成形比率等方式，年均提高齿轮材料利用率 2% 以上，到 2020 年总体提高 25% 左右，到 2030 年总体提高 50% 左右。

4）齿轮产品功率密度年均提高 4% 左右，到 2030 年功率密度提高 1 倍。

5）稳步减小齿轮传动的功率损耗，到 2030 年功率损耗减小 50%。

6）齿轮制造精度到 2020 年提高 1 级，到 2030 年再提高 1 级。

7）汽车齿轮使用寿命到 2020 年提高 2 ～ 3 倍，到 2030 年达到寿命期内不失效。

2. 齿轮基础技术

齿轮基础理论、基础技术研究以及基础数据测试积累、标准规范制定等是齿轮产品研发和创新的基础。我国 20 世纪 60 ～ 80 年代在齿轮基础技术研究方面取得了长足的进步，但目前基础试验等工作几乎停止。国外在新齿形、试验研究等方面的工作一直未间断。

（1）现状

1）齿轮齿形方面。由于渐开线齿形的齿轮具有加工方便、中心距可分等优点一直处于主导地位；双圆弧齿轮近年来的理论研究和加工工艺研究基本处于停滞状态；微线段齿形、非对称齿形等新齿形及新型分流方式的研究取得了一些阶段性成果，尚需深入研究。随着设计手段的完善，数控加工技术的提高，使得空间曲面的加工变得比较容易，奠定了研究开发更优齿形的基础。

2）基础数据方面。德国慕尼黑工业大学等国外研究机构在不断进行齿轮材料性能测试和载荷谱搜集、测试等基础试验研究，而我国自科研院所转制以来针

对齿轮材料和性能试验的基础试验研究几乎没有，载荷谱搜集、测试等也很少。

3）测试服务平台方面。齿轮行业缺乏为全行业提供测试服务的、拥有专门人才队伍和先进测试装备的测试服务平台。一些企业虽建有性能优良的试验台，但几乎都不为行业服务，缺乏试验标准和规范，一般只用于自己产品的出厂试验。

4）标准化方面。我国齿轮行业标准化体系不健全，技术和产品适用标准少，贯标率低，不少产品（如超大和超小模数齿轮）已经大大超出现有标准范围。

（2）挑战

1）随着齿轮传动向高功率密度、高效率、低噪声等方向的不断发展，迫切需要研究开发齿轮新齿形和新传动方式。

2）齿轮材料的疲劳极限以及载荷谱等基础数据决定着齿轮产品设计的合理性和可靠性。缺乏基础研究及数据成为制约我国齿轮产品设计水平提高的重要因素之一。

3）缺乏为全行业服务的高水平的测试服务平台，使许多齿轮新产品得不到第三方检测、设计合理性评定，直接影响产品改进。

4）标准化方面的差距导致齿轮产品设计、制造水平低，可靠性低，寿命短。

（3）目标

1）在新齿形和新传动研究方面取得突破，研究出一些传动效率高、承载能力强、制造和检测比较容易的新齿形和新传动。

2）依托专业研究院所和高等院校建设公共研究平台，加大资金投入，建立研究和成果共享机制，持续进行包括齿轮材料极限应力、金相组织图谱测定及载荷谱搜集、试验等齿轮基础研究，建立并不断完善齿轮基础数据库。

3）建设面向全行业的现代化的齿轮产品测试服务平台，加强人才队伍和试验测试能力建设，制定产品试验测试标准和规范，满足企业产品测试、评价和改进服务方面的要求。

4） 建立齿轮行业先进完善的标准化体系，使齿轮标准化进入世界强国行列。

3. 关键设计技术

齿轮传动设计技术正逐渐与流体传动、电气传动等传动技术相复合，与计算机技术、网络技术等现代技术相融合，使齿轮产品不断向着高功率密度、高可靠性、长寿命、低损耗及低噪声等方向发展。另外，随着计算机技术、信息技术及相关科学技术的进步，数字化、智能化、集成化将是齿轮传动设计技术的发展方向。

（1）现状　美国、日本和欧洲发达国家是齿轮技术强国，仍不断进行研究，持续提升设计水平和产品的功率密度、可靠性，降低噪声和成本。近些年来，我国齿轮产品的设计水平不断提高，与发达国家的差距总体有逐渐缩小的趋势。但是，某些方面差距仍十分明显，主要表现在：①缺乏国产的能够实现多学科耦合设计、分析的专业软件；②动力学建模和动特性分析偏差大，减振降噪设计水平低；③多行星轮均载设计技术、混合动力汽车功率合成技术、大型舰船多余度合流与分流技术差距大；④齿轮传动系统的效率和热平衡计算缺乏试验研究和计算依据；⑤不掌握以汽车自动变速器、超超临界火电机组调速传动装置为典型产品的机电液复合传动集成设计技术。

（2）挑战　由于以上差距明显，造成我国齿轮产品效率、功率密度和可靠性低，振动噪声大，汽车自动变速器等高端齿轮产品依赖进口，一些军用装备的传动装置遭到国外技术封锁。

（3）目标

1）强力开发先进的多学科耦合设计、分析软件。

2）加强动力学研究，将动力学设计、减振降噪和齿轮修形结合起来，提升产品档次。

3）攻克机电液复合传动核心技术，使汽车自动变速器立足国内制造，开发零滑差复合传动装置。

4）开展热平衡试验研究，降低功率损耗，使齿轮传动装置的强度功率和热功率相匹配。

5）突破功率分流、合成及余度设计技术，解决舰船、飞机等重要装备功率分流、合成及备份问题。

4. 关键加工技术

这里的加工主要指齿轮类、轴类等零件的机械加工。提升加工技术水平是提高齿轮产品精度、质量、可靠性和生产效率的重要保证。高精度、高效率、绿色环保是未来齿轮加工技术的重要特点。

（1）现状　近年来，我国齿轮制造技术水平和制造能力得到了不断提高，但同国际先进水平相比，齿轮制造总体存在着能耗高、材料利用率和生产效率低、产品质量稳定性差、切削液对环境造成污染等问题。磨齿烧伤控制缺少标准、规范，企业在各自探索，很少进行行业内交流，检测技术跟不上，导致废品率高，生产效率低；齿轮超硬加工技术、干切削技术、极限（极大、极小）制造技术、

轮齿喷丸强化技术和近净成形技术等缺乏系统研究，远不能满足需求。

（2）挑战　超硬加工和干切削能够提高加工效率和减小污染，齿轮冷锻、温锻等近净成形能够节材 30% 左右，节能 65% 左右。随着能源危机和环境污染等的不断加剧，要求齿轮产品加工要满足高效、节能、节材、降耗和环保等要求；随着机械装备朝着高性能、高可靠性及长寿命等方向发展，要求齿轮产品加工要达到高精度、高质量，因此需要攻克一系列关键加工技术。

（3）目标

1）攻克齿轮近净成形技术和模具制造技术，逐年提高汽车齿轮类零件和轴类零件的近净成形率。

2）攻克齿轮干切削及超硬加工技术，年均提高齿轮干切削及超硬加工率 5% 左右。

3）开展大型齿轮等零件修复技术研究，实现大型和贵重零件再制造。

4）研究微齿轮等微零件制造技术，满足超小体积传动装置的需求。

5）提高生产效率，平均每 5 年缩短生产周期 10% ～ 15%。

6）研究齿轮制造工艺，提高圆柱齿轮和锥齿轮的制造精度。

5. 齿轮材料及热处理技术

齿轮材料及热处理技术涉及齿轮材料种类及冶金质量、毛坯的制造方式和内在质量、齿轮热处理方式及热处理质量等。齿轮材料及热处理技术已成为制约我国齿轮产品质量和性能进一步提高的重要因素。齿轮材料向着多品种、高品质、经济性方向发展，齿轮热处理技术及装备向着控制精准化、生产高效低耗方向发展。

（1）现状

1）齿轮材料品质较低，铸锻件缺陷较多，一些特殊要求的材料如直升机高温高硬度齿轮钢、高寒气候用军用车辆低温抗冲击齿轮钢、低应力感应淬火齿轮钢等缺乏。

2）齿轮渗碳淬火变形大，磨齿时容易出现磨削裂纹、烧伤和磨削台阶，且渗碳周期较长、能耗高，易产生内氧化，影响齿根弯曲疲劳强度；渗氮渗层薄，不适合较大模数的齿轮，若增加层深，时间太长，而且相成分控制困难；感应淬火齿轮易出现齿根淬火开裂，硬化层与心部的过渡层薄弱往往引起早期疲劳剥落，严重影响齿轮承载能力和可靠性。

（2）挑战　齿轮材料品质低、缺陷多以及热处理工艺技术落后，是造成我

国齿轮产品承载能力低、可靠性低、废品率高的重要原因，应该加大研究，改变这种状况。

（3）目标

1）提高齿轮钢材和铸锻件的冶金质量，降低钢中含气量和非金属夹杂物，含气量分别达到：氧含量≤ 10 μ g/g，氢含量≤ 2 μ g/g，氮含量≤ 50 μ g/g；控制齿轮钢的淬透性带宽，上下限波动小于 3HRC。

2）开发高温高性能钢、低温耐冲击钢、高压气淬微变形钢、快速渗氮钢及沉淀硬化钢等各类特殊性能齿轮钢，开发齿轮用高强度塑料等非金属材料。

3）攻克渗碳和渗氮催渗技术，提高生产效率；攻克深层渗氮技术，提高渗氮齿轮承载能力，扩大应用范围。

4）研究齿轮感应淬火工艺应力形成机制和规律，优化淬火工艺，控制残余应力，克服淬火开裂；研究多频感应加热淬火及感应压床淬火新工艺。

5）研究复合热处理齿面强化技术以及高能密度硬化及喷丸强化等技术，提高齿轮的承载能力和可靠性。

6）研究齿轮精密形变热处理技术，提高齿轮强度和生产效率。

6. 润滑、冷却与密封技术

润滑、冷却与密封技术对提高设备运行可靠性、延长使用寿命、减少事故发生等具有重要作用。润滑、冷却以及密封技术和密封元件不过关是我国齿轮产品质量不高的重要原因之一。

（1）现状　我国齿轮传动摩擦设计、高品质润滑介质开发、高效润滑冷却技术研究等均与国际先进水平差距明显，因润滑和轴承问题造成齿轮箱失效的比率较高。齿轮产品漏油问题既普遍，又严重；既浪费介质，又污染环境。

（2）挑战　随着齿轮传动不断向高速、重载、复杂服役环境及高可靠性等方向发展，润滑、冷却和密封方面的问题将更加突出，必须采取应对措施，从根本上解决这些问题。

（3）目标

1）根据不同传动载荷和工况需求，开发高品质、多品种、少无污染的润滑介质。

2）研究固体润滑、气体润滑、自润滑技术，满足特殊服役环境齿轮传动的需求。

3）研究密封技术，开发各种优性能、长寿命密封件，解决齿轮箱漏油和频

繁更换密封件的问题。

4）开发高承载能力、高可靠性、长寿命轴承，改变高参数齿轮箱轴承几乎全部依赖进口的局面。

5）开展摩擦学设计和油液检测与故障诊断技术研究。

7. 关键工艺装备技术

齿轮工艺装备包括滚齿机、插齿机、铣齿机等各类切齿机床以及磨齿机、热处理设备、检测设备及各种刀具工具等。齿轮工艺装备对提高齿轮产品性能、保证产品质量的作用越来越大。我国机床软件编程技术、在线测量技术、精度保持技术、超精密分度技术以及刀具涂层技术等齿轮关键工艺装备设计制造技术同国际先进水平差距很大，造成高级工艺装备依赖进口。

（1）现状

1）切齿机床。滚齿机、插齿机、铣齿机等圆柱齿轮制齿机床在生产效率、制造精度、复合化及大型化等方面与国外先进水平有较大差距；弧齿锥齿轮加工机床差距更大，大型弧齿锥齿轮加工机床刚开发出样机。

2）数控磨齿机。德国生产的数控成形磨齿机全球领先，砂轮自动对刀、自动修整、在线测量及智能纠正等先进技术得到应用，高精度、高效率、功能复合及大型化成为趋势，磨齿精度已稳定达到 3 ～ 5 级。我国数控成形磨齿机经历了从无到有、从有到精的过程，但在可靠性、加工效率、自动对刀等方面还有较大差距，数控成形磨齿机仍大部分依赖进口。

3）热处理装备。我国高端齿轮感应淬火机床依赖进口；渗碳装备自动化程度低、能耗较高，淬火冷却装备水平较低，难以实现工艺控制和节能环保要求。

4）刀具与工具。齿轮干切削刀具、高效滚齿刀具、高性能 CBN 刀具和磨齿砂轮几乎全部进口。

5）测量设备。国外 CNC 齿轮测量中心得到普遍应用，测量精度稳定在 3 级；大型齿轮测量中心和三坐标测量机可测直径为 6m 的齿轮；齿轮在机测量系统已成为机床的组成部分；齿轮生产线上有机械手自动上下料的齿轮快速分选测量机成为车辆齿轮现场测量的主导设备。国内中模数齿轮测量中心相对成熟，测量精度稳定在 4 级；最大齿轮测量中心可测直径为 2m 的齿轮；在机测量系统处在研发阶段；车辆齿轮生产线上的齿轮快速分选测量机已投入生产；坐标测量机、小模数齿轮测量仪器和大直径齿轮测量仪器几乎全部进口。

（2）挑战　根据未来齿轮产品制造对关键工艺装备的需求，我国必须攻克

上述一系列关键工艺装备的设计制造技术，重点解决以下问题：①切齿、磨齿机床重点解决高效、高精、数控化、复合化、大型化及自动上下料等方面的问题；②热处理设备重点解决大型、智能、高效、低耗及环保等方面的问题；③刀具与工具重点解决超硬切削、长寿命及低成本等方面的问题；④测量设备重点解决测量精度、测量范围、在机测量及在线测量等方面的问题。

（3）目标

1）开发高精、高效、大型数控圆柱齿轮磨齿机和锥齿轮磨齿机，改变我国大型数控磨齿机依赖进口的局面。

2)开发干式滚齿机和硬齿面滚齿机，开发大型锥齿轮铣齿机等专用铣齿机床。

3）开发高效滚齿刀具，研发刀具涂层材料和技术，扩大硬质合金、CBN 刀具的应用；开发材料切除率高、寿命长、修整频率低的磨齿砂轮。

4)开发高级数控感应淬火机床，开发新型智能、高效、低耗、环保的齿轮渗碳、渗氮等热处理设备。

5）开发基于激光跟踪测量技术和室内激光雷达等技术的特大型齿轮在位测量系统，开发基于光纤测头的微型齿轮测量机，开发结合机械手上下料的、耦合在齿轮生产线上的齿轮快速分选测量机等。

8. 齿轮技术路线图

齿轮技术路线图见图 C-1。

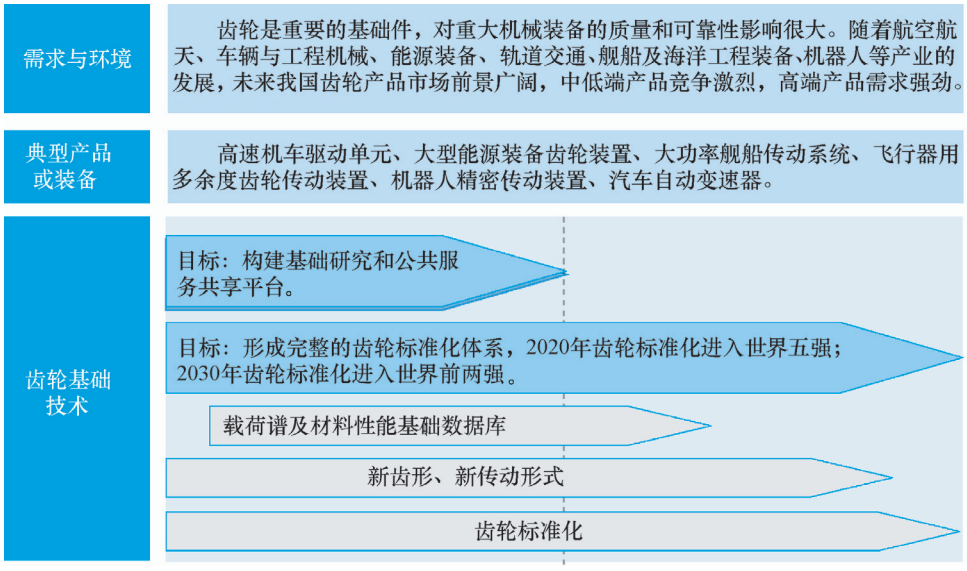


图 C-1　齿轮技术路线图

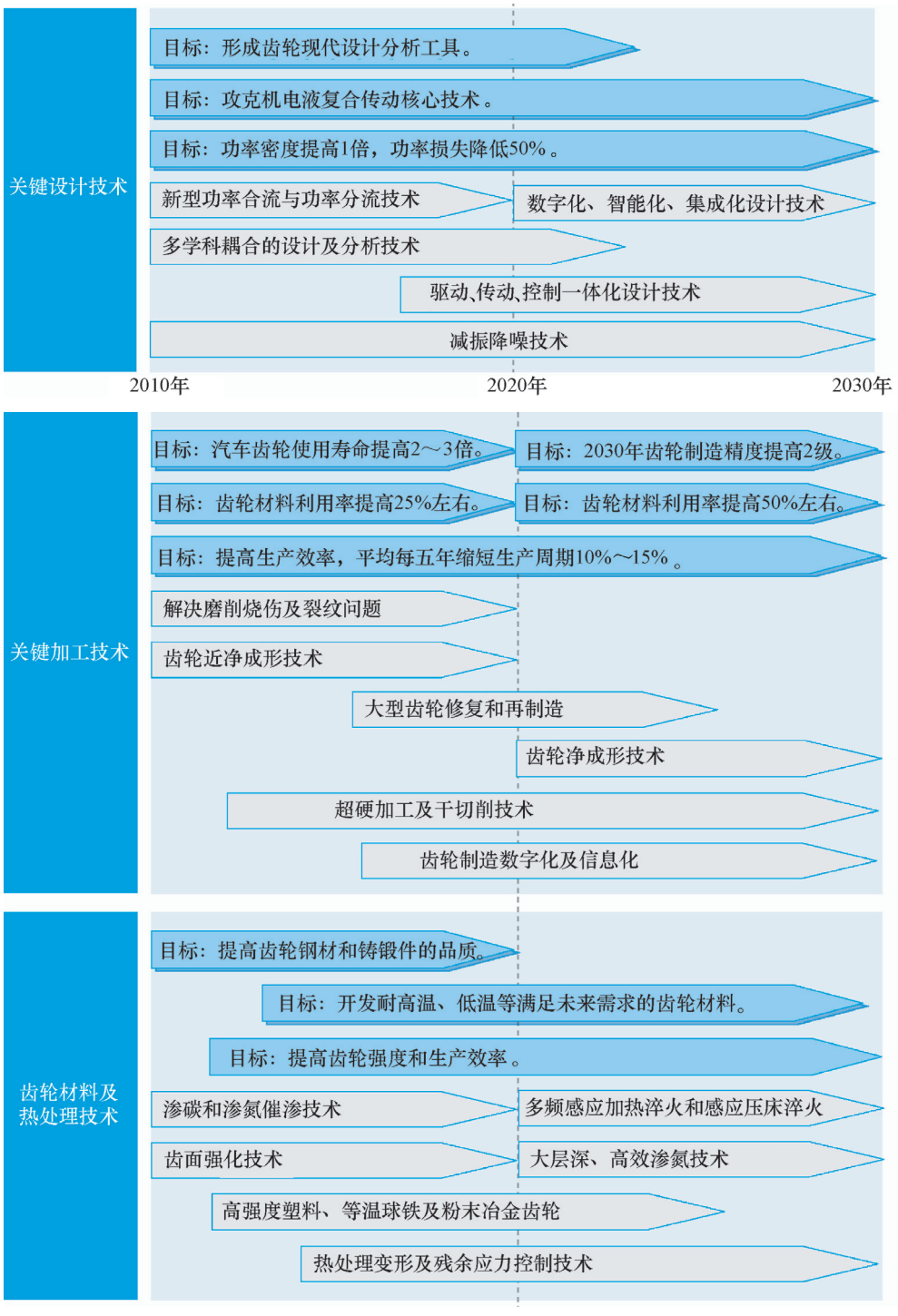
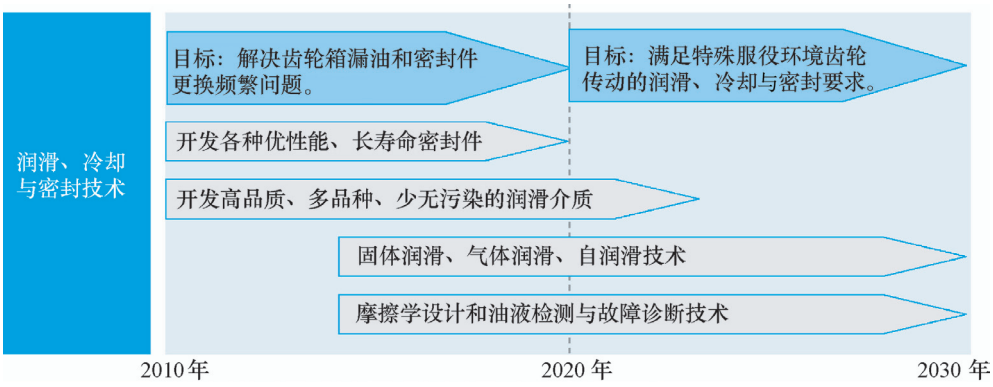


图 C-1　齿轮技术路线图（续）



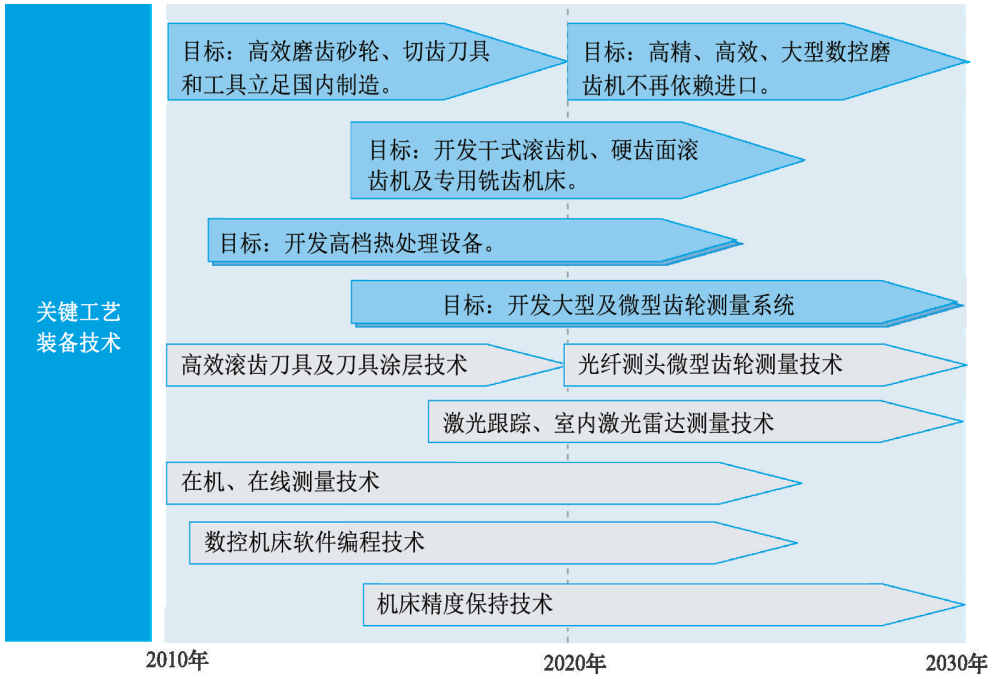


图 C-1　齿轮技术路线图（续）

附录 D　2025 年美国齿轮工业愿景

1. 背景

2004 年 9 月，在美国陆军航空应用技术委员会、AGMA（美国齿轮制造业协会）基金、ASME（美国机械工程师协会）研究和技术开发中心、Ben Franklin 技术中心、波音、格里森基金和 GM 动力传动等资助下，由美国齿轮制造业协会组织完成了《2025 年美国齿轮工业愿景》（简称《齿轮愿景》）的编写工作。

美国齿轮工业愿景是美国齿轮行业内的领导者们经过 6 个多月的努力工作完成的，目的是描述统一的愿景和设定支持这个愿景的战略目标。这个愿景和目标将被用来促进齿轮制造商、材料供应商、终端用户、高校和政府试验室联合进行研究和开发工作，以开发在未来 20 年需要取得成功的创新技术。

核心内容是由美国齿轮工业愿景工作组在密歇根州的底特律于 2004 年 3 月 10 日完成的。超过 40 位齿轮行业的专家、终端用户公司、学术界和政府共同探讨齿轮行业在未来 20 年的发展方向，这些讨论形成了《齿轮愿景》的基础。

2. 概要

齿轮是装备制造业的基础。齿轮被用于几乎所有需要动力传递的领域，如汽车、工业设备、飞机、直升机和船舶。

全球齿轮市场已超过 450 亿美元，其中的 3/4 为汽车齿轮，而欧洲、北美和亚洲的部分地区一直占主导市场。在低劳动力成本的吸引下，该产业正在向中国、印度和东欧等其他地区迁移。来自电动机、牵引驱动和液力系统等其他动力传动技术的竞争继续在某些应用领域威胁着齿轮。在某些应用领域对齿轮的需求肯定会降低，然而由于齿轮系统能在低成本、低噪声和更短的开发时间获得更好的性能，大量的机会正在涌现。

美国齿轮制造业协会与齿轮行业的领导者们一同定义了一个共同的愿景。在这个愿景中，齿轮是 2025 年全球化市场中动力传动和控制的首选解决方案。齿轮产品从设计到制造、再到市场整个过程最流畅、最快速。这个行业通过雇用技

术熟练的设计和制造人员来提供创新的解决方案。全球标准化使得市场稳健地增长和融合，用户可以找到最具技术和经济效率的解决方案来满足他们的动力传动需求。这个行业也已经建立起了一系列的数量和质量战略“扩张目标”，这有助于将技术开发活动集中于实现这个愿景之中。然而，这个愿景和目标并非能够轻易获得。在未来的 20 年，齿轮行业必须解决重大的技术难题来满足终端用户在可承受成本下所需要的性能。这样做将需要如创新齿轮设计、增强的齿轮材料、先进的制造以及自动化等新技术。在齿轮设计者、制造商、终端用户、高校和政府之间的合作能够增强和改善技术发展的效率。通过共同工作来迎接未来 20 年的挑战，齿轮工业能有一个繁荣的未来，齿轮传动仍是所有经济领域中动力传动的首选资源。

3. 齿轮工业概述

齿轮是全球经济的基础。齿轮几乎被用于所有需要动力传递的领域。齿轮市场通常被分成四个主要应用领域：汽车、工业、航空和船舶。汽车是目前为止最大的应用领域，估计约为其他三个应用领域之和的三倍。工业应用在所有的齿轮应用中占第二位，通常工业应用包括制造和工艺设备，如起重机和透平系统等重型机械。航空和船舶应用领域使用的齿轮数量少于汽车和工业应用领域，需要具有更高技术含量的在狭小空间中使用的长寿命齿轮。鉴于齿轮在军事应用中扮演的角色，齿轮技术对美国国家安全至关重要。

目前，国际齿轮市场围绕着三个主要的制造和应用中心：欧洲、北美和亚洲。随着齿轮生产和消费迁移到亚洲和东欧市场，这些地区的市场预计将在未来几年扮演更加重要的角色。

齿轮行业包括不同大小、能力和市场的公司。如通用汽车、约翰迪尔与波音等内部拥有齿轮业务的大型综合性公司往往在数量和价值上是最大的制造商。这些齿轮业务往往也引领着齿轮技术的研发和创新方向。行业内还包括更多较小的独立齿轮公司，其中许多致力于直接为终端用户公司提供产品。这些公司通常规模相对较小，平均拥有员工 100 人。小型化最近已成为一种趋势，这种趋势是远离垄断设备制造商生产而转向专业化的小型、独立公司，以满足设备制造商需求。

如今，原始设备制造商往往设计齿轮系统后，把齿轮设计外包给齿轮制造商，尽管有些齿轮公司可独立设计、制造传动系统。

典型的传动产品分为两类：开式齿轮和闭式传动。开式齿轮通常是由小型或

中型公司成对生产，直接接收设备制造商或设备制造商供应商的订单。这些厂家约占制造商数量的2/3，但只占1/3的产值。闭式传动的制造者为原始设备制造商装配齿轮传动系统，通常用于运输和重型机械的应用。2004年全球齿轮市场见表D-1。

表D-1　2004年全球齿轮市场

（单位：十亿美元）

市场分类	日本	欧洲	美国	其他	全部
汽车	5.9	10.2	9.4	10.4	35.9
非汽车	1.9	5.4	2.7	2.0	12.0
全部	7.8	15.6	12.1	12.4	47.9

注：数据由格里森公司提供。

4. 趋势和动力

未来20年将为齿轮工业提出严峻的挑战和巨大的机会。客户对更高性能、低成本、轻量化、高效率、低噪声及快速开发的需求将推动齿轮制造商用创新的解决方案来响应。近年来齿轮的性能提高已几乎停滞，因此，需要新技术的出现来使齿轮有更大的性能增强。这些增强保证在更紧凑安装空间下具有极低的运行噪声和几乎100%的效率，同时具有更长的疲劳寿命。国家的界限随着全球齿轮市场的演变而逐渐消失，齿轮制造商必须在更广泛的范围内看待竞争与合作。

技术熟练的人力资源的竞争将继续挑战齿轮公司。在竞争日益激烈的全球市场中，齿轮制造商能否迅速应对这些趋势和驱动力将决定他们的成败。

最重要的趋势和驱动力如下：

1）市场趋势

①终端用户寻求负担得起的、高效的动力传动——非齿轮传动。

②车辆市场为扩大齿轮应用提供了大量机会。

2）产品趋势

①对高速、高效和低噪声的更高要求将促进技术进步。

② 供应链整合和时间压缩继续推动技术进步。

③ 行业内继续努力使对环境的影响最小化。

3）全球压力。制造正转移出美国以降低成本，齿轮行业必须重新整合以继

续存活在全球化的经济环境下。

4）劳动力趋势。在美国，齿轮技术的教育和培训正在减少。

5）增进合作。增加关于共同研究目标的行业内合作将使技术开发更有效。

（1）市场趋势

1）终端用户寻求负担得起的、高效的动力传动。齿轮能够高效和经济地传递动力，在各种应用中有着广泛的需求。然而，齿轮行业清醒地认识到顾客需要的是高效的动力传输。而高效的动力传输不仅齿轮具有，企业必须保持警惕，并努力超越与之竞争的如电动机、牵引驱动和液压系统等动力传输技术，以确保其未来的成功。齿轮供应商正在努力提高效率并开发由最终用户和产品驱动的先进驱动（包括材料、润滑和结构设计）概念，这将提高齿轮的竞争力。客户对低成本的要求可能会使一些齿轮变成低端产品，但是许多应用仍需要专门的解决方案以满足特殊的要求。为了更有竞争力，齿轮行业越来越将“动力传动”看做是技术和业务解决方案的创造性机会。

2）车辆市场为扩大齿轮应用提供了大量机会。车辆市场仍将是齿轮行业未来 20 年的支柱市场。航天齿轮不断要求在相同或更低的重量条件下提高功率系数，同时具有更高的性能和更长的大修间隔。这推动着齿轮制造商必须开发具有更大的功率密度和更长使用寿命的小体积齿轮。随着航空公司正在探讨的全电飞机应用可能性的增强，齿轮制造商将面临航空齿轮应用的危机。

大多数业内专家认为，目前在汽车行业使用更多齿轮的趋势预计将在未来 20 年继续保持。然而，低排放车辆的目标可能会给齿轮行业带来麻烦，因为汽车制造商会更多地考虑电动车辆及电动驱动技术的优点。

另一个新兴市场是不断增长的适合人口老龄化需求的个人动力运输工具。在这个市场里，齿轮可能会与电力驱动竞争。要想有效地竞争，齿轮行业必须致力于低噪声、高效齿轮来使从电动机传递过来的动力最大化。随着电动机获得青睐，齿轮的声音变得越来越重要。这是因为电动机没有内燃机固有的噪声，内燃机的噪声在目前许多应用中超过齿轮噪声。

（2）产品趋势

1）对高性能的需求将引导技术发展。高性能参数的齿轮传动已经成为动力传动的最高效方法之一，齿轮行业着眼于通过更大的功率负荷和更长的使用寿命来提高自身的地位。随着效率要求接近 100%，表面涂层和新型热处理技术，如真空渗碳能够立即提高使用寿命。在齿轮几何学方面的进步也有望提高齿轮的性

能。然而，润滑剂和轴承往往是齿轮系统功率密度的限制因素，而且有限的轴承钢供应可能阻碍使用寿命的提高。一些应用可能转向采用更高强度材料的具有更高精度的更小齿轮，以实现更低成本下的更高功率密度。这种进步将使齿轮性能得到提高，尤其在需要转矩叠加的工业应用中是有价值的。因为组合了重量轻和高承载能力，适合于航天应用，而预算往往较少受到限制，齿轮行业可以在这个领域通过技术进步寻求早期市场，并随后将经验应用于其他领域。

2）供应链整合和时间压缩继续推动进步。与其他动力传递技术竞争的日益加剧，要求低成本和高可靠性相结合。为了降低成本和缩短制造时间，作为齿轮产品替代手段的传动形式会不断出现，其中净成形技术更具前景。在未来20年，不断发展的“智能”制造系统和改善机床技术将使生产率翻倍（以每名雇员产出计算）。用分析代替试验可能导致产品的可靠性问题，但虚拟试验和验证能进一步提高生产率。以检验国际标准和电子专家的形式出现的标准化性能验证试验流程和统一的计量技术，将确保行业范围内性能的一致性。

3）行业内持续寻求环境污染最小化。齿轮制造商将继续推动消除制造过程中的浪费，以降低成本和保护环境。对更清洁、更环境友好型润滑技术的需求也将在未来齿轮技术的发展中发挥重要的作用。除了在运行过程中的环境影响，齿轮制造商必须考虑它们的齿轮系统在服务终端的影响。客户可能要求更大的齿轮系统和更高的废料（包括废润滑油）循环利用率，以及可回收齿轮材料的使用。

（3）全球压力　为了降低成本，制造正移出美国，齿轮行业必须重新整合，以继续在全球化的经济环境下生存。

不同国家的生产成本（例如能源、劳动力、法规和运输）有很大差别。在美国增加的包括卫生保健、诉讼和税收费用等非生产成本位于世界前列，这阻碍了创新和与其他国家的竞争。美国齿轮行业必须敏锐地意识到相对的优势和弱势，以保证在全球市场中的位置。不断增强的全球竞争，特别是在中国和亚洲其他地区，将越来越强地冲击美国齿轮行业。美国齿轮制造商可能增强对创新的关注，特别是在制造工艺方面，以便保持在全球齿轮市场的成本竞争力。然而，亚洲制造商有可能在低端齿轮方面获得优势，美国齿轮制造商往往无法在劳动力成本方面进行竞争。

（4）劳动力趋势　在美国，齿轮技术方面的培训和教育正在减少。

正如任何高科技行业一样，齿轮行业为了设计和制造出满足客户需求的齿轮系统，也需要依靠大量高素质、专业经验丰富的技术人员。由于退休，目前的齿

轮行业队伍老化已导致了经验的损失，传承下来的经验很有限。技术移民也限制着技术和知识工人的供应，而且今天的工程师们常常不愿意迁移到齿轮制造所在的地区。降低成本的努力和对技术熟练的人力资源的竞争迫使现有齿轮行业雇员承担多种责任，这导致了专业知识大量损失。一些工程师必须承担更多的工作，这阻碍了他们成为行业需要的齿轮专家。

此外，超负荷工作减少或消除了工程师阅读技术期刊和相互学习的时间，阻碍了创新的发展。尽管自动化程度的提高将最终减少所需要的熟练工人的数量，但行业在未来几年内仍必须积极加强对技术人员的培养。齿轮行业必须与大学合作，来创造和提供支撑行业适应齿轮技术的大学和研究生课程。

（5）增进合作　增加关于共同研究目标的行业内合作将使技术开发更有效。

在追求效率和生产率时，齿轮行业内的公司正在采取不同的方法。有些人会追求联合扩大能力，而其他仍然专注于专业化。兼并和收购有可能在未来的 20 年内继续出现，但小而更灵活的公司也将继续存在。一些大公司会委托这些小公司开展研发和制造。行业内其他公司有可能寻求联盟来领导研发，通过协调许多高度专业化公司各自的特长，而不是一个非常大的实体在内部执行这项工作。更大的合作将使行业能够解决公司个体无法实现的成本过高的长期目标。全球技术中心将促进合作，而且持续发展信息系统将进一步促进全球知识和技术快速转让。

5. 美国齿轮工业 2025 年愿景

齿轮行业面临着来自其他动力传动形式的严峻挑战。不断发展的电动马达和其他有竞争力的技术威胁着传统齿轮市场，特别是在车辆领域。有限的高品质齿轮和轴承材料可能会限制功率密度的提高，而且与环境相关的排放、噪声和润滑剂也给齿轮行业带来更多的挑战。在某些应用领域，对齿轮的需求会有所减少，但也呈现出巨大的机遇。在许多应用中，齿轮仍然是最高效和最经济的动力传动方式，这个重要优势将继续支持齿轮应用在许多经济领域。随着传动技术的提高，齿轮也会开发出新的应用市场。

美国齿轮行业制定的 2025 年统一愿景，不是为了预测未来，相反，它描绘了一个在未来 20 年齿轮行业努力创造的未来蓝图。通过阐明未来的愿望，齿轮行业可以发展业务和技术战略来使自己的愿景成为现实。

（1）齿轮将成为优先解决方案　齿轮将成为 2025 年全球市场动力传动和控制的优先解决方案。齿轮制造商将提供优化的解决方案来应对其客户对动力传递

的成本效益、机械效率、高可靠性、环境友好和最短交货时间的需求。

这些创新的动力管理解决方案将为最终用户的产品增加价值，并为齿轮制造商创造利润，使得行业长期、持续增长。因为这种增加附加值的能力，可巩固齿轮作为一项关键技术的地位，并能在动力传动等具有重要挑战的行业内快速发展。齿轮将发挥关键作用，以实现更高的生产率、清洁的环境、更高的燃油效率和更高的生活质量。

（2）精密、高效和快速制造　从设计到制造再到市场，齿轮生产将是最流畅、快捷的加工过程之一。齿轮制造将是精密的，与每种应用所要求的精度相匹配，更高的可靠性，并在大多数应用中实现近 100% 的动力传递效率。这些能力将通过结合先进的柔性设计和制造技术，通过使用改进的材料和工艺来获得。齿轮的尺寸范围将不断扩大以满足客户的需求，从纳米尺度到几十英尺的直径。传动系统将继续提供最有效的动力传递方法，同时在需要的应用中提高功率因数，减轻重量。

（3）成为技术熟练劳动力的职业选择　齿轮行业将通过雇用高技术水平的设计和制造队伍来提供创新的解决方案。齿轮行业的从业人员将运用最先进的设计、材料、制造和信息技术来迎接不同应用范围内的复杂挑战。

科学家和工程师在齿轮行业谋职，因为它提供了挑战和值得做的职业机会。这些专家将在齿轮用户、制造商、政府和学术界之间更大合作的支持下来开展材料、设计、制造工艺、测试和验证以及系统集成领域的研究。

（4）注重环境保护工作　全球标准将有助于强大的全球市场的发展和整合，客户可以为他们的动力传动需求找到最有技术含量和经济效益的解决方案，而不用转向与齿轮相竞争的技术。齿轮行业将优化生产技术以尽量减少对环境的影响，而且齿轮在诸如交通和发电等终端市场的进步将获得更大的环境效益，扩大了齿轮对世界环境保护工作的积极贡献。

6. 美国齿轮行业的战略目标

实现愿景需要共同的、集中的努力。齿轮工业会继续追求并实现一系列战略目标。这些目标不是为了预测未来，而是为实现愿景的研究和开发活动的“延伸目标”。这些战略目标量化了改善所追求的目标，并为行业提供了其向愿景前进的衡量标准。

（1）增大利润和市场份额　齿轮工业渴望成为首选的动力传递解决方案，

同时为股东和利益相关者提供可接受的利润。通过积极地削减成本和增加市场份额，齿轮制造企业可以为它们的客户和股东提供更多的价值。其具体目标如下：

1）通过扩大应用和确定新的市场来增加市场份额。

2）到 2025 年齿轮工业收入增加 50%。

3）每年生产率提高 5%（生产率环比提高为 3% ～ 4%）。

4）直到 2025 年，每年制造和运行成本降低 5%。

5）到 2025 年，行业净资产收益率平均达到 7%。

（2）增强齿轮性能　要实现愿景就需要在齿轮性能方面有重大进展。通过提高功率转换效率和提高功率密度，齿轮传动将继续是动力传递的首选方法。在可靠性方面，行业的目标是达到各应用领域的可靠性标准要求。汽车行业对燃料电池和混合动力系统的不断探索，要求大幅降低齿轮噪声，因为这些发动机比内燃机的噪声小得多。潜艇技术可能会提供可以被修改并适用于汽车齿轮系统在这个方面追求的技术。最后，需要制订设计和质量标准以确保所有的齿轮达到性能要求。其具体目标如下：

1）提高功率密度。每 5 年增加功率密度 25%，到 2025 年提高功率密度到 200%（目前是 35% ～ 50%）。

2）提高功率转换效率。功率损耗减少 50%（目前效率为 97% ～ 99%）。

3）提高可靠性。大齿轮 20 年可靠性达到 100%；每 5 年增加大修间隔时间 25%；2010 年汽车在 200 000mile 的可靠性达到 95%，2020 年达到 98%；最终实现产品寿命期内零故障。

4）降低噪声。将齿轮噪声降低到低于应用所要求的环境噪声水平，在更高功率密度下保持目前的或更好的噪声等级。

5）建立标准。到 2015 年建立一个设计和测试标准的全球系统，制定标准化质量和验证程序。

（3）提升制造水平　随着客户对更好性能、更低成本和更短交货时间需求的越来越高，齿轮厂家将被迫通过比以往任何时候更迅速地设计和制造出改进的齿轮系统来作出响应。提高的齿轮制造精度将允许齿轮供应商实现几个间接目标，如减少废料和废物的产生，改善性能预测和更高的可靠性。减少从最初的设计到交付给客户的总时间，不仅提高了效率，也允许企业通过随着专业应用的出现，通过快速响应来扩大市场份额。其具体目标如下：

1）增加齿轮制造精度。在第一个 5 年内齿轮整体精度提高 1AGMA 精度等级，在接着的 10 ～ 15 年再提高整体精度 1AGMA 精度等级（为有需求的应用，在相同

的获得成本下）；在 5 年内降低报废、返工和保修率 10%；到 2015 年减少废物排放 50%。

2）缩短齿轮部件上市时间。在 5 年内使部件的交货期缩短 25%，在 10 年内缩短 50%（目前大多数零件的交货期为 6 ～ 8 周）；到 2025 年，整体上市时间（设计和开发）缩短 50%，到 2050 年缩短 90%。

（4）改善教育和培训　没有技术高度熟练的员工，齿轮行业将无法实现其目标。需要通过开设行业认可的专业课程来培养潜在的雇员。这样的课程可以确保新毕业生获得适当的技术知识和培训技能，使他们能够随时为企业作出贡献。较强的理论基础也有助于提高年轻专业人员对产业的了解，从而增加他们考虑将齿轮行业作为一个有吸引力的、令人兴奋的职业机会的可能性。其具体目标如下：

1）增加进入齿轮产业的大学和技术学校毕业生人数。

2）开设齿轮设计和制造课程。到 2025 年，每个州至少建立一个规划，全国范围内至少有 100 个规划。

（5）增进合作　为了实现这些崇高的目标，行业内必须形成齿轮制造商、材料供应商、最终用户、大学和政府之间的合作伙伴关系。这些战略联盟促使行业协调和利用有限资源，为向共同目标前进而发挥最大的作用。通过获得一定的知名度、资源和广泛的支持，合作伙伴关系也已成功地吸引更多的外部资源加入他们的活动。其具体目标如下：

1）到 2010 年，发展和建立行业、政府和大学之间的竞争前战略联盟。

2）到 2025 年，增加 5 倍的齿轮行业研发资金，以促进创新和保持美国的技术优势。

7. 技术挑战

齿轮工业已经为自己的未来描绘了一个雄心勃勃的愿景和远大的目标。行业内认识到，要想克服各种各样的阻碍齿轮制造商实现所提出的更高效率、缩短产品上市时间、更好的可靠性和其他目标的技术挑战，需要持续和共同的努力。此文件不包括技术需要和解决方案的彻底调查，这类问题更适合遵循这一愿景文件的技术路线图和其他规划工作。然而，对必须加以处理的高水平技术挑战的粗略调查结果可分为以下四类：

（1）创新齿轮设计和开发

1）建立一整套统一的设计和测试标准。

2）开发更好的摩擦学模型。

3）创造预测工具、虚拟实验和仿真工具。

4）基于模拟改进设计要素（齿轮几何形貌、涂层）。

5）增加润滑知识，探索高温稳定的润滑剂。

6）开发改进的齿轮噪声分析模型。

（2）增强齿轮材料

1）继续探索钢材的特性和潜力。

①热处理达到 RC70+ 和更好的钢。

②保证更大功率密度的清洁钢。

③减少 / 消除晶界氧化的新型钢和喷丸强化提高性能。

④检测原材料钢中缺陷的有效方法。

2）探索在目前的功率密度和效率下无润滑工作的齿轮材料。

3）改进箱体材料，使车辆应用轻量化。

4）利用高性能的非金属材料。

（3）创新的制造工艺和自动化

1）优化高质量、低偏差、稳定的生产工艺，包括热处理和表面涂层。

2）通过更快的检测技术缩短生产时间。

3）为 JIT 生产提供集成的检查 / 分析能力。

（4）增进合作

1）在行业内更好地协调研究项目和共享最佳的实际经验。

2）通过支持产业统一生产流程和优化可用于制造的材料。

3）通过学术机构，扩大研究能力，培养行业内未来的劳动力，提高建议写作能力。

4）通过政府及其研究设施，充分利用研发设备、资金和丰富的现有知识。

附录 E　国外主要工业国家齿轮标准目录

1. AGMA 标准（美国齿轮制造业协会标准）

AGMA 901-A92 最小体积齿轮初步设计的程序

AGMA 908-B89 影响直齿轮、斜齿轮以及人字齿齿轮轮齿抗点蚀及弯曲强度的几何系数

AGMA 909-A06 模制塑料齿轮技术规范

AGMA 910-C90 细径节齿轮规范数据格式

AGMA 911-A94 航空航天传动装置设计指南

AGMA 912-A04 齿轮轮齿失效机理

AGMA 913-A98 直齿轮及斜齿轮几何参数确定方法

AGMA 914-B04 齿轮噪声手册 第 1 部分：齿轮传动噪声的基本原理；第 2 部分：齿轮噪声的来源、分类和等级；第 3 部分：齿轮传动噪声控制

AGMA 915-1-A02 检验规范 第 1 部分：圆柱齿轮 切向测量

AGMA 915-2-A05 检验规范 第 2 部分：圆柱齿轮 径向测量

AGMA 915-3-A99 检验规范 齿轮毛坯、轴中心距及轴线平行度

AGMA 917-B97 平行轴细径节齿轮传动设计手册

AGMA 918-A93 直齿轮和斜齿轮几何系数计算例概述

AGMA 920-A01 塑料齿轮材料

AGMA 923-B05 钢齿轮冶金技术条件

AGMA 925-A03 润滑对齿轮表面损伤的影响

AGMA 926-C99 航空航天渗碳齿轮工艺规范

AGMA 927-A01 载荷分配系数 圆柱齿轮分析方法

AGMA 929-A06 锥齿轮齿顶和切削刃半径的计算

AGMA 930-A05 粉末冶金外啮合直齿轮弯曲承载能力计算

AGMA 932-A05 准双曲面齿轮抗点蚀和弯曲强度计算

AGMA 933-B03 基础齿轮几何学

AGMA 935-A05 径向测量齿轮双啮仪的评价

AGMA 938-A05 齿轮喷丸处理

AGMA 939-A07 奥氏体回火球墨铸铁齿轮材料

AGMA 2015/915-1-A02 圆柱齿轮精度制 切向测量公差表

ANSI/AGMA 1003-G93 细径节渐开线直齿轮和斜齿轮齿廓

ANSI/AGMA 1006-A97 塑料齿轮齿廓

ANSI/AGMA 1010-E95 齿轮轮齿齿面磨损和损伤术语

ANSI/AGMA 1012-G05 齿轮术语、定义

ANSI/AGMA 1102-A03 齿轮滚刀公差规范

ANSI/AGMA 1106-A97 塑料齿轮齿廓（米制）

ANSI/AGMA 2001-D04 渐开线直齿轮及斜齿轮轮齿基本参数及计算方法

ANSI/AGMA 2002-B88 齿厚技术规范及测量方法

ANSI/AGMA 2003-B97 直齿锥齿轮、零度齿锥齿轮以及弧齿锥齿轮抗点蚀和弯曲强度计算

ANSI/AGMA 2004-B89 齿轮材料和热处理手册

ANSI/AGMA 2005-D03 锥齿轮设计手册

ANSI/AGMA 2007-C00 齿轮磨削后表面回火浸蚀检验

ANSI/AGMA 2008-C01 锥齿轮的装配

ANSI/AGMA 2009-B01 锥齿轮的分类、公差以及测量方法

ANSI/AGMA 2011-A98 圆柱蜗杆传动装置公差及检验方法

ANSI/AGMA 2015-1-A01 圆柱齿轮精度 切向测量

ANSI/AGMA 2015-2-A06 圆柱齿轮精度 径向测量

ANSI/AGMA 2101-D04 渐开线直齿轮及斜齿轮轮齿基本参数及计算方法（米制）

ANSI/AGMA 2111-A98 圆柱蜗杆传动装置公差及检验方法（米制）

ANSI/AGMA 2116-A05 齿轮径向综合测量双啮仪的评价（米制）

ANSI/AGMA 6000-B96 齿轮装置线性振动检测规范

ANSI/AGMA 6001-D97 闭式齿轮传动零件的设计和选用

ANSI/AGMA 6002-B93 车辆直齿轮和斜齿轮设计手册

ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03 风电齿轮箱设计规范和技术条件

ANSI/AGMA 6008-A98 粉末冶金齿轮规范

ANSI/AGMA 6011-I03 高速斜齿轮传动装置技术条件

ANSI/AGMA 6013-A06 工业闭式齿轮传动装置

ANSI/AGMA 6014-A06 圆柱壳和耳轴支承设备齿轮功率计算

ANSI/AGMA 6022-C93 圆柱蜗杆传动装置设计手册

ANSI/AGMA 6025-D98 闭式斜齿轮、人字齿轮以及弧齿锥齿轮传动装置的噪声

ANSI/AGMA 6032-A94 船用齿轮装置评定

ANSI/AGMA 6033-B98 船用驱动齿轮材料

ANSI/AGMA 6034-B92 闭式圆柱蜗杆减速器和齿轮马达

ANSI/AGMA 6035-A02 环面蜗杆的设计、计算和应用

ANSI/AGMA 6113-A06 闭式齿轮传动装置（米制）

ANSI/AGMA 6114-A06 圆柱壳和耳轴支承设备齿轮功率计算（米制）

ANSI/AGMA 6123-B06 闭式行星齿轮传动装置设计手册

ANSI/AGMA 6133-B98 船用驱动齿轮材料（米制）

ANSI/AGMA 6135-A02 工业环面蜗杆的设计、计算和应用（米制）

ANSI/AGMA 9005-E02 工业齿轮装置润滑油

AGMA ISO 10064-5-A06 检验操作规程 第 5 部分：齿轮测量仪的评定

AGMA ISO 14179-1 齿轮减速器 基于 ISO/TR 14179-1 热承载能力计算

ANSI/AGMA ISO 18653-A06 齿轮 测量仪评定

2. BS 标准（英国标准）

BS 436-5-1997 直齿轮和斜齿轮 第 5 部分：齿轮齿根啮合面偏差允许值和定义

BS 545-1982 锥齿轮（机械切割）规范

BS 978-1-1968 小节距齿轮规范 第 1 部分：渐开线直齿轮和斜齿轮

BS 978-3-1952 小节距齿轮 第 3 部分：锥齿轮

BS 2519-2-1976 齿轮术语 第 2 部分：标注方法

BS 4185-11-1983 机床零件 第 11 部分：齿轮精度等级推荐规范

BS 4582-1-1970 小齿距齿轮（米制）规范 第 1 部分：渐开线直齿轮和斜齿轮

BS 4582-2-1978 小齿距齿轮（米制）规范 第 2 部分：滚铣与切削

BS 5221-1987 齿轮滚刀通用规范（米制）

BS 5246-1976 直齿轮插齿刀规范 模数 1 ～ 8（米制）

BS 6168-1987 非金属直齿轮规范

BS 6413-6-1991 润滑油、工业用油和有关产品（L 类） C 系列（齿轮） 油分类

BS 6765-4-1987 休闲式房车、大篷车 第 4 部分：齿轮规范

BS 7676-2-1993 齿轮验收检验规范：验收试验期间齿轮机械振动的测定

BS 7848-1996 齿轮 齿轮轮齿的磨损和损伤 术语

BS 7862-1996 齿轮 磨齿后齿面回火浸蚀检验

BS DD 222-1996 齿条和齿轮传动升降机规范

BS EN 14203-2004 遮帘和百叶窗 带手摇曲柄的齿轮使用性能、要求和试验方法

BS EN ISO13691-2002 石油和天然气工业用高速齿轮传动装置

BS EN ISO2203-1997 技术制图 齿轮的画法

BS ISO 53-1998 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条轮廓

BS ISO 54-1997 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 模数

BS ISO 701-1999 齿轮的国际符号表示法 几何代号

BS ISO 1122-1-1998 齿轮术语词汇 几何学定义

BS ISO 6336-1-2006 直齿轮和斜齿轮负载能力的计算 基本原理、概述和一般影响因素

BS ISO 6336-2-2006 直齿轮和斜齿轮承载能力的计算 表面耐久性（点蚀）计算

BS ISO 6336-3-2006 直齿轮和斜齿轮承载能力的计算 轮齿弯曲强度计算

BS ISO 6336-5-2003 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 材料的强度和质量

BS ISO 6336-6-2006 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 变载荷下齿轮的寿命

BS ISO 8579-1-2002 齿轮验收检验规范 空气中噪声传播的试验规程

BS ISO 9083-2001 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 船用齿轮的应用

BS ISO 9084-2003 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 高速齿轮和类似要求齿轮的应用

BS ISO 9085-2002 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 工业齿轮应用

BS ISO 10300-1-2001 锥齿轮承载能力计算 概述及一般影响因素

BS ISO 10300-2-2001 锥齿轮承载能力计算 表面耐久性（点蚀）计算

BS ISO 10300-3-2001 锥齿轮承载能力计算 齿根强度的计算

BS ISO 13691-2002 石油和天然气工业用齿轮装置

BS ISO 14635-1-2000 齿轮 FZG 试验规程 有关齿轮油的抗污性的 FZG 试验方法 A/8、3/90

BS ISO 14635-3-2006 齿轮 FZG 试验规程 齿轮润滑油的胶合承载能力和磨损特性的 FZG 试验方法 A/2、8/50

BS ISO 17485-2006 锥齿轮 ISO 精度制

BS ISO 18653-2003 齿轮 单个齿轮测量仪器的评价

BS ISO 21771-2007 齿轮 圆柱渐开线齿轮和齿轮副 概念和几何学

BS ISO 23509-2006 锥齿轮和准双曲面齿轮几何学

BS ISO TR 10064-1-1997 圆柱齿轮 检验实施规程 同侧齿面的检验

BS ISO TR 10064-2-1997 圆柱齿轮 检验实施规程 径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验

BS ISO TR 10064-3-1997 圆柱齿轮 检验实施规程 齿轮齿坯、轴心距和轴的平行度的推荐

BS ISO TR 10495-1998 圆柱齿轮 变载荷下使用寿命的计算 符合 ISO 6336 规定的圆柱齿轮的条件

BS ISO/TR 10064-4-1999 圆柱齿轮 检验实施规程 表面纹理和轮齿接触斑点检验的推荐方法

BS ISO/TR 13989-1-2001 圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮胶合承载能力计算 闪温法

BS ISO/TR 13989-2-2001 圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮的胶合承载能力计算方法 积分温度法

BS ISO/TR 14179-1-2001 齿轮 热功率 95℃时测定齿轮传动装置热平衡

BS ISO/TR 14179-2-2001 齿轮 热功率 热承载能力

3. NF 标准（法国标准）

NF E04-113-1998 技术图样 齿轮的画法 (EN ISO 2203)

NF E23-001-1-1998 齿轮术语词汇 第 1 部分：几何学定义

NF E23-001-2-1999 齿轮术语词汇 第 2 部分：蜗杆蜗轮几何学定义

NF E23-005-1998 齿轮国际符号表示法 几何代号

NF E23-007-1-1995 圆柱齿轮 ISO 精度制 第 1 部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值

NF E23-007-2-1997 圆柱齿轮 ISO 精度制 第 2 部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值

NF E23-009-1998 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓

NF E23-010-1997 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 模数

NF E23-014-2006 齿轮轮齿的磨损和损伤术语

NF E23-018-1999 蜗轮 蜗轮的参数 铭牌、中心距及用户提供给制造者的数据

NF E23-021-2001 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 高速齿轮和有类似要求齿轮的应用

NF E23-022-1-2002 齿轮装置的验收规范 第 1 部分：空气传播噪声的测量

NF E23-030-1-2002 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 1 部分：基本原理、概述和一般影响因素

NF E23-030-2-2003 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 2 部分：齿轮表面耐久性（点蚀）

NF E23-030-3-2003 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 3 部分：轮齿弯曲强度的计算

NF E23-030-5-2003 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和质量

NF E23-035-2003 石油和天然气工业用高速齿轮装置

NF E23-037-2004 齿轮 单个齿轮测量仪器评价

NF E23-038-2004 齿轮 磨机、烘干炉、干燥机和冷却器用齿轮的检查规范

NF E51-234-2003 石油、化学和气体工业 封闭整体式齿轮离心空气压缩机

NF E62-250-1976 组合机床动力头 多轴头 直齿轮

NF E62-255-1976 机床模块 多轴头 1 号和 2 号攻螺纹轴上的直齿主动齿轮

NF E62-256-1976 机床模块 多轴头 3 号和 4 号攻螺纹轴上的直齿主动齿轮

NF E62-257-1976 机床的模块装置 多轴头 直齿轮

NF E62-258-1976 机床的模块装置 多轴头 偏心轮毂直齿轮

NF F02-303-1990 铁路车辆 小齿轮及大齿轮

NF J95-044-2001 小型船舶 舵机装置 齿轮传动

NF L36-711-1974 滚子传动链和配合的嵌齿轮传动机构 航空航天应用

NF R11-411-1987 道路车辆 起动机齿轮 齿轮特性和控制

NF S80-501-1995 钟表业 校准式摆线或渐开线齿轮 优选模数

NF S80-504-1995 钟表业 校准式摆线或渐开线齿轮 耦合齿轮

NF S80-505-1995 钟表业 校准式摆线或渐开线齿轮 齿轮组

NF S80-525-1995 钟表业 校准式摆线齿轮 增速齿轮 基本齿廓 主动轮和从动轮

NF S80-526-1995 钟表业 校准式摆线齿轮 增速或减速齿轮

NF S80-541-1995 钟表业 校准式摆线齿轮 弹簧锁定装置中心齿轮

NF S80-560-1995 钟表业 渐开线齿轮 词汇

NF S80-565-1995 钟表业 渐开线齿轮 基本齿条

NF T60-150-4-2006 石油及相关产品 防腐矿物油和液体的老化性能测定 TOST 试验 第 4 部分：工业齿轮油的程序

NF T60-507-1991 润滑剂、工业润滑油及相关产品（L 级） 分类 第 6 部分 :C 系列（齿轮传动）

NF T60-530-1-1999 润滑剂、工业润滑油和有关产品（L 类） C 组（齿轮）第 1 部分：闭式齿轮传动用润滑剂规范

NF T60-602-1995 工业齿轮用极压润滑剂 人工老化氧化稳定性的评价

4. DIN 标准（德国标准）

DIN 780-1 :1977 齿轮模数系列 圆柱齿轮的模数

DIN 780-2 :1977 齿轮模数系列 圆柱蜗杆传动的模数

DIN 781 :1973 机床 变速齿轮的齿数

DIN 867 :1986 通用机械和重型机械用圆柱齿轮基准齿条齿廓

DIN 868 :1976 齿轮 齿轮副和齿轮系传动机构的一般定义和参数

DIN 3960 :1987 渐开线圆柱齿轮和齿轮副的术语定义和尺寸参数

DIN 3961 :1978 圆柱齿轮的公差 基本原理

DIN 3962-1 :1978 圆柱齿轮的轮齿公差 单项参数偏差的公差

DIN 3962-2 :1978 圆柱齿轮的轮齿公差 螺旋线偏差的公差

DIN 3962-3 :1978 圆柱齿轮的轮齿公差 齿距累积偏差的公差

DIN 3963 :1978 圆柱齿轮的轮齿公差 综合偏差的公差

DIN 3964 :1980 圆柱齿轮箱的中心距偏差和轴位置公差

DIN 3965-1 :1986 锥齿轮的轮齿公差 第 1 部分：基本原理

DIN 3965-2 :1986 锥齿轮的轮齿公差 第 2 部分：单项参数偏差的公差

DIN 3965-3 :1986 锥齿轮的轮齿公差 第 3 部分：综合偏差的公差

DIN 3965-4 :1986 锥齿轮的轮齿公差 第 4 部分：轴线夹角误差和轴位置公差

DIN 3966-1 :1978 图样上应注明的齿轮参数 第 1 部分： 渐开线圆柱齿轮参数

DIN 3966-2 :1978 图样上应注明的齿轮参数 第 2 部分：直齿锥齿轮参数

DIN 3967 :1978 齿轮配合 侧隙、齿厚偏差和齿厚公差 原则

DIN 3970-1 :1974 检验圆柱直齿轮的标准齿轮 齿轮坯和轮齿

DIN 3970-2 :1974 检验圆柱直齿轮的标准齿轮 安装心轴

DIN 3971 :1980 锥齿轮和锥齿轮副的术语定义和尺寸参数

DIN 3972 :1952 相符 DIN 867 的渐开线齿轮的齿轮切削刀具的基准齿廓

DIN 3977 :1981 圆柱齿轮径向测量齿厚及其直径

DIN 3979 :1979 齿轮轮齿损伤 术语、特性、原因

DIN 3990-1 :1987 圆柱齿轮承载能力计算 概述和一般影响因素

DIN 3990-2 :1987 圆柱齿轮承载能力计算 耐点蚀性能计算

DIN 3990-3 :1987 圆柱齿轮承载能力计算 齿根强度计算

DIN 3990-4 :1987 圆柱齿轮承载能力计算 胶合承载能力计算

DIN 3990-5 :1987 圆柱齿轮承载能力计算 疲劳极限和材料质量

DIN 3990-6 :1994 圆柱齿轮承载能力计算 变载荷下的强度计算

DIN 3990-31 :1990 圆柱齿轮承载能力计算 船用齿轮应用

DIN 3990-41 :1990 圆柱齿轮承载能力计算 车辆齿轮应用

DIN 3991-1 :1988 非偏置轴锥齿轮承载能力计算 概述和一般影响因素

DIN 3991-3 :1988 非偏置轴锥齿轮承载能力计算 齿根承载能力计算

DIN 3991-4 :1988 非偏置轴锥齿轮承载能力计算 胶合承载能力计算

DIN 3992 :1964 外啮合圆柱直齿轮和斜齿轮的齿顶高变位

DIN 3993-1 :1981 渐开线圆柱内齿轮副的几何设计 基本规则

DIN 3993-2 :1981 渐开线圆柱内齿轮副的几何设计 内齿轮配合的几何极限图

DIN 3993-3 :1981 渐开线圆柱内齿轮副的几何设计 齿顶高变位系数极限图

DIN 3993-4 :1981 渐开线圆柱内齿轮副的几何设计 内小齿轮刀具配合的几何极限图

DIN 3994 :1963 05 直齿轮的齿顶高修正 概述

DIN 3998 Bb.1 :1976 齿轮和齿轮副的名称 相同术语字母索引

DIN 3998-1 :1976 齿轮和齿轮副的名称 一般定义

DIN 3998-2 :1976 齿轮和齿轮副的名称 圆柱齿轮和齿轮副

DIN 3998-3 :1976 齿轮和齿轮副的名称 准双曲面齿轮和齿轮副

DIN 3999 :1974 齿轮标注方法 符号

DIN 4000-141 :2005 特性表 第 141 部分：圆柱形齿轮用带孔或柄的滚刀

DIN 4000-27 :1982 齿轮传动特性表

DIN 4000-59 :1987 齿条、圆柱齿轮、小齿轮轴、锥齿轮、锥齿轮轴、蜗杆和蜗轮传动特性表

DIN 15082-1 :1977 起重机 轨道轮 螺旋连接的齿轮

DIN 21186 :1994 凿井 矿井中起吊负载的钢索悬挂齿轮 安全性要求和试验

DIN 21187 :1994 凿井 矿井中起吊负载的钢链悬挂齿轮 安全性要求和试验

DIN 45635-23 :2003 机器噪声测量 空气传播噪声包络面法 第 23 部分：齿轮传动

DIN 51509-1 :1976 齿轮润滑剂的选择 齿轮润滑油

DIN 51509-2 :1988 润滑剂 齿轮传动用润滑剂的选择 第 2 部分：半流体润滑剂

DIN 58400 :1984 精密机械用渐开线圆柱齿轮基本齿形

DIN 58405 Bb.1 :1972 精密机械用直齿轮传动装置 计算表

DIN 58405-1 :1972 精密机械用直齿轮传动装置 第 1 部分：适用范围、定义、主要设计参数、分类

DIN 58405-2 :1972 精密机械用直齿轮传动装置 第 2 部分：传动装置配合选择、公差、允许值差

DIN 58405-3 :1972 精密机械用直齿轮传动装置 图样上的标注 示例

DIN 58405-4 :1972 精密机械用直齿轮传动装置 第 4 部分：表格

DIN 58411 :1987 模数为 0.1 ～ 1mm 的圆柱形精密直齿轮加工用滚铣刀

DIN 58412 :1987 精密机构用齿轮的基本齿条齿形 符合德国标准(DIN)58400 和 (DIN)867 的渐开线齿轮

DIN 58413 :1987 精密加工装置的齿轮滚刀的公差

DIN 58420 :1981 检验精密机械直齿轮的标准齿轮 齿轮毛坯及轮齿

DIN 58425-1 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 1 部分：概述、符号、术语

DIN 58425-2 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 2 部分：齿形

DIN 58425-3 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 3 部分：机轮和传动装置的计算与设计

DIN 58425-4 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 4 部分：传动轮和小齿轮的公差和允许偏差

DIN 58425-5 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 5 部分：齿轮刀具的齿廓

DIN 58425-6 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 6 部分：图样指示

DIN 58425-7 :1980 精密机械的摆线齿面齿轮 第 7 部分：图表

DIN 69001-31 :1981 机床 多轴头 A 型传动小齿轮

DIN 69001-43 :1981 机床 多轴头 A 和 B 型小齿轮套

DIN 69001-52 :1981 机床 多轴头 A 型齿轮

DIN 73011 :1983 汽车 轿车变速器的换挡设置

DIN EN ISO 4263-4 :2006 石油和相关产品 防腐蚀矿物油和液体老化性的测定 TOST 试验 第 4 部分：工业齿轮油的程序 (ISO 4263-4:2006)

DIN EN ISO 13691 :2003 石油和天然气工业 高速专用齿轮机构

DIN EN ISO 13929 :2001 小型船舶 舵机装置 齿轮传动

DIN ISO 2203 :1976 技术制图 齿轮的表示法

DIN ISO 14635-1 :2006-05 齿轮 FZG 试验规程。第 1 部分：油品的胶合承载能力 FZG 试验方法 A/8.3/90

5. JIS 标准（日本标准）

JIS B 0102-1999 齿轮术语词汇 几何学定义

JIS B 0121-1999 国际齿轮符号表示法 几何代号

JIS B 0160-1999 齿轮 齿轮轮齿的磨损和损伤术语

JIS B 1453-1988 齿轮联轴器

JIS B 1701-1-1999 通用机械和重型机械用圆柱形齿轮 第 1 部分：基本齿廓

JIS B 1701-2-1999 通用机械和重型机械用圆柱形齿轮 第 2 部分：模数

JIS B 1702-1-1998 圆柱齿轮 ISO 精度制 第 1 部分：同侧齿面偏差的定义和允许值

JIS B 1702-2-1998 圆柱齿轮 ISO 精度制 第 2 部分：径向综合偏差的定义和允许值

JIS B 1702-3-2008 圆柱齿轮 精确制 第 3 部分： 模塑塑料齿轮的同侧齿面偏差及径向综合偏差的定义和允许值

JIS B 1704-1978 锥齿轮精度

JIS B 1705-1973 锥齿轮侧隙

JIS B 1706-1-1999 一般机械用直齿锥齿轮 第 1 部分：基本齿条

JIS B 1706-2-1999 一般机械和重型机械用直齿锥齿轮 第 2 部分：模数和齿距

JIS B 1751-1976 校准用圆柱齿轮

JIS B 1753-1999 齿轮验收规范 第 1 部分：验收试验中齿轮装置空气传播噪声的测定

JIS B 1754-1998 齿轮验收规范 第 2 部分：验收试验中齿轮装置机械振动的测定

JIS B 1755-1999 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 材料的强度和质量

JIS B 1756-2008 齿轮 磨削后表面回火浸蚀的检验

JIS D 5204-1993 道路车辆 起动机小齿轮及内齿轮的尺寸

JIS K 2219-1993 齿轮油

6. JGMA 标准（日本齿轮协会标准）

Former JIS B 1702 圆柱齿轮精度

Former JIS B 1703 圆柱齿轮侧隙

JGMA 113-01 直齿轮和斜齿轮中心距公差

JGMA 114-01 直齿轮和斜齿轮轴线平行度

JGMA 115-01 直齿轮和斜齿轮齿厚规范

JGMA 117-02 直齿轮几何学

JGMA 118-01 斜齿轮几何学

JGMA 1109-01 常用小模数直齿轮形状和规格

JGMA 121-02 锥齿轮的等级和公差

JGMA 122-01 锥齿轮侧隙等级

JGMA 131-02 圆柱蜗杆几何学

JGMA 132-01 圆柱蜗轮几何学

JGMA 211-01 单级圆柱齿轮减速器几何学

JGMA 212-01 二级和三级圆柱齿轮减速器几何学

JGMA 221-01 单级锥齿轮、二级锥齿轮和圆柱齿轮、三级锥齿轮和圆柱齿轮减速器

JGMA 221-01 单级圆柱蜗杆齿轮减速器几何学

JGMA 301-01 齿轮轮齿接触斑点

JGMA 151-01 铸造齿轮和焊接齿轮的几何学

JGMA 401-01 直齿轮和斜齿轮轮齿弯曲疲劳强度计算

JGMA 402-01 直齿轮和斜齿轮轮齿接触疲劳强度（抗点蚀）计算

JGMA 403-01 锥齿轮弯曲疲劳强度计算

JGMA 404-01 锥齿轮接触疲劳强度（抗点蚀）计算

JGMA 405-01 圆柱蜗杆齿轮强度计算

JGMA 111-03 直齿轮和斜齿轮中心孔的直径公差和圆柱度以及齿顶圆直径公差

JGMA 001-01 齿轮术语缩写

JGMA 511-01 圆柱齿轮 为了获得所需要的齿轮减速器用户提供给制造商的数据

JGMA 521-01 直齿锥齿轮 为了获得所需要的齿轮减速器用户提供给制造商的数据

JGMA 611-01 圆柱齿轮齿顶高变位系数

JGMA 6101-01 直齿轮和斜齿轮弯曲疲劳强度计算

JGMA 6102-01 直齿轮和斜齿轮轮齿接触疲劳强度（抗点蚀）计算

JGMA 7001-01 齿轮轮齿失效形式术语

JGMA 8002-01 齿轮装置机械振动测定所需的数据

JGMA 2001-01 传递运动的齿轮装置的特性及精度

JGMA 4101-01 圆柱齿轮承载能力试验方法

JGMA 4102-01 圆柱齿轮承载能力试验结果评价标准和程序

JGMA 3101-01 圆柱齿轮切削时间计算

JGMA 3102-01 圆柱齿轮轮齿表面精加工时间计算

JGMA 1001-01 齿轮齿面粗糙度和测量方法

JGMA 1101-01 直齿轮和斜齿轮中心距公差

JGMA 1102-01 直齿轮和斜齿轮轴线平行度

JGMA/TR0001 齿轮精度新标准和 JIS 标准比较表

JGMA/TR0002 直齿轮和斜齿轮承载能力简化计算

JGMA/TR0003 锥齿轮承载能力简化计算

JGMA 1002-01 齿轮轮齿接触斑点

JGMA 1103-01 齿轮精度 直齿轮和斜齿轮侧隙与齿厚

附录 F　齿轮行业部分中国机械工业科学技术奖

1. 获奖情况

2007 年以来，齿轮行业共获得机械工业科学技术奖 25 项，其中二等奖 12 项，三等奖 13 项。获奖第一完成单位有：重庆机床（集团）有限责任公司、重庆齿轮箱有限责任公司、南京高速齿轮制造有限公司、郑州机械研究所、杭州前进齿轮箱集团股份有限公司、陕西秦川机械发展股份有限公司等。表 F-1 列出了齿轮行业近五年来获奖情况，表 F-2 所列为齿轮行业部分二等奖及以上成果的项目情况。本统计未计入国家其他部门和各省市的奖项。图 F-1 所示为齿轮行业二等奖中各专业占比情况，图 F-2 所示为齿轮行业三等奖中各专业占比情况。

表 F-1　2007—2011 年齿轮行业获机械工业科学技术奖情况

年份 / 获奖级别	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年	2007 年
二等奖	1	2	2	3	4
三等奖	4	3	5	1	0
合计	5	5	7	4	4

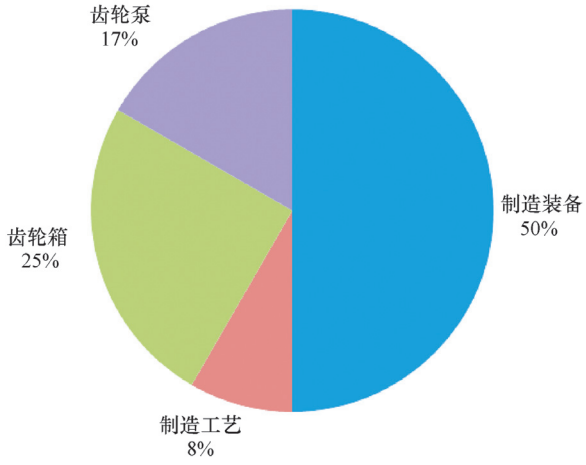


图 F-1　二等奖中各专业占比情况

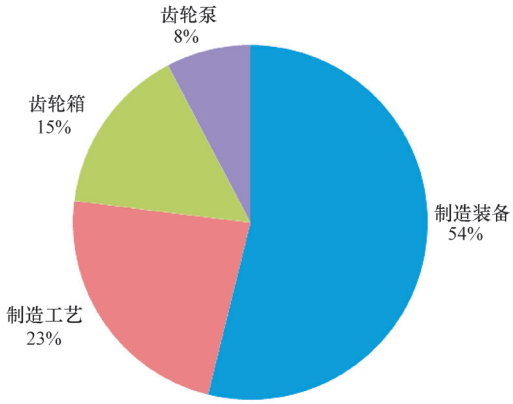


图 F-2　三等奖中各专业占比情况

表 F-2　齿轮行业部分中国机械工业科学技术奖二等奖及以上成果情况

项目名称	主持单位	主要完成人	获奖等级	获奖年度
Y4232CNC9 系列数控精密高效剃齿机成套技术开发及产业化应用	重庆机床（集团）有限责任公司	李先广、张大鹏、王良勇、袁巧利、周鸿、唐良慧、李博、谢小卿、陈剑、蔡明彬	二	2011
GVL1400 双机并车带 PTO 船用离合减速齿轮箱	重庆齿轮箱有限责任公司	向超、杜昌烈、刘阳、刘晓波、余业亮、吕和生、杨晓英、王达超、姚世屈	二	2010
汽车自动变速器成套齿轮近净成形关键技术开发及产业化	江苏太平洋精锻科技股份有限公司	夏汉关、赵红军、董义、朱正斌、莫江涛、黄飞、陶立平、赵军华	二	2010
高性能船舶动力传动系统齿轮箱关键技术及产业化	杭州前进齿轮箱集团股份有限公司	刘伟辉、李华斌、朱才朝、李志忠、杜雪松、黄继平、吴明建、汪文霖、宁杰	二	2009
FD1660 型风力发电机齿轮箱	南京高速齿轮制造有限公司	刘建国、袁包钢、石万凯、王朝阳、王峥嵘、张波、丁伟、刘臻、张玉锁、戈海	二	2009
JRT0540 扶梯减速器	杭州杰牌传动科技有限公司	谢信孚、陆建江、张永红、曹运明、廖征宇、卢叶妹、付仕超、陈建刚、杜发斌	二	2009

（续）

项目名称	主持单位	主要完成人	获奖等级	获奖年度
高参数特种齿轮泵关键技术及系列产品研发	郑州机械研究所	刘忠明、吕泮功、黄华明、李福勇、王长路、司健、裴帮、李群峰、柳书海、黄红涛	二	2008
YK7236A 数控蜗杆砂轮磨齿机	陕西秦川机械发展股份有限公司	郭宝安、杨娟宁、谢瑛、何关虎、郭宗礼、张吉利、王俊岭、郝来成、颉新虎、赵玮	二	2008
CBTDH-F×× 高压低噪声液压齿轮泵	合肥长源液压件有限责任公司	杨永彬、陈文辉、陈海强、郑金朝、孙小平、刘伟	二	2007

2. 部分获奖项目简介

（1）Y4232CNC9 系列数控精密高效剃齿机成套技术开发及产业化应用

1）项目所属领域。剃齿机床是齿轮精密加工的关键装备，广泛用于轿车、重型载货汽车、摩托车、工程机械等行业。本项目属国家装备制造业高速、高精度数控机床科技领域，属科技部《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》重大专项之“高档数控机床与基础制造装备”范畴。

2）主要研究内容。

①精密、高效数控剃齿关键技术研究：精密、高效数控剃齿机床系统优化设计技术、多轴精密传动技术、径向进给轴热补偿技术、刀架精密转角及自动补偿技术、剃齿机数控编程技术，工件自动夹具系统及其快换技术、工件全自动传输与交换技术、剃刀精密定位与快换技术，水基切削液替代切削油的剃齿加工技术等。

②精密、高效数控剃齿装备研制：研制出多轴四联动数控精密剃齿机床、精密剃齿刀具、工件自动夹具系统、工件自动传输与交换机械手系统、剃刀快换机构等，形成精密、高效数控剃齿系列装备。

③产业化模式及产品系列化推广应用。

3）创新点。

①通过剃齿机系统优化技术、多轴精密传动技术、径向进给热补偿、刀架精密转角补偿、工作台无级调速等技术攻关，使得剃齿机精度水平达到国际先进水

平，获授权专利 2 项（ZL200610095102.1、ZL200420060013.X），剃齿机系列产品被列入国家重点新产品。

②实现了工件自动装夹、工件全自动上下料、刀具精密快换等高效自动化剃齿加工系统，获授权发明专利 1 项（ZL200910103064.3），降低了劳动强度，提高了生产可靠性，由原来 1 人 1 机提高到 1 人 7 机的国际先进水平。

③国际同步、国内率先实现水基切削液完全替代切削油加工，节约冷却润滑成本 80% 左右，并有效解决切削油环境污染，实现绿色加工和清洁化生产，形成产品销售亮点。

4）取得的成果。

①成功突破一系列精密、高效数控剃齿关键技术，积累并形成了自主创新研发的能力和队伍，支撑申请成为国家认定企业技术中心。

②研制出 Y4232CNC9 九轴四联动数控剃齿机等精密、高效多轴数控系列剃齿机产品 20 多种，被列入国家重点新产品计划，共计 2 项。

③所研制的精密、高效数控剃齿机完全替代国外进口，国内市场占有率达 70% 以上。

④制定国家标准 1 项、行业标准 3 项，获国家发明专利授权 2 项、实用新型专利 1 项。

5）应用推广情况。

①已大量销往上汽、一汽、二汽、陕西法士特、日本爱信公司（唐山）、德国 GETRAG 公司（江西）等重要客户，还出口到韩国、印度、巴西等国际上汽车齿轮的重要生产国家。

②近年累计销售数控剃齿机近 1 000 台，共实现销售收入 4 亿元。

（2）GVL1400 双机并车带 PTO 船用离合减速齿轮箱　重庆齿轮箱有限责任公司自主研制的 GVL1400 双机并车带 PTO 船用离合减速齿轮箱，具有并车、离合、减速、承受螺旋桨推力功能，并具有 PTO（功率输出）功能，可用于大型油船、大型滚装船、海洋工作船及其他大型运输船舶。

GVL1400 双机并车带 PTO 船用离合减速齿轮箱，是船舶主推进动力中实现动力传递的关键部件，其设计制造技术是保证机组可靠运行的关键技术。该齿轮箱应用于 12 600t 成品油船主动力传动系统，由两台柴油机输入，主输出驱动调距桨，辅助功率输出驱动小功率的轴带发电机，在航行时向船舶提供电力。

该齿轮箱采用了模块化设计、并车传动及控制、湿式多片离合器、多离合器

控制系统、大型推力轴承和辅助功率输出等技术；可以实现单机运行、并车运行、单机切换和 PTO 输出等功能，提高了船舶运行的安全性和可靠性，节能减排效果显著。齿轮箱技术指标满足中国船级社检测规范要求。该成果具有完全自主知识产权，相关技术已获实用新型专利 5 项，申报的发明专利已进入实审阶段。经专家鉴定该项目为创新性成果，打破了大型船用齿轮箱的国外技术垄断，改变了大型主推进减速齿轮箱全部依赖进口的局面，填补了国内同行业在较大功率柴油机配置方面的空白，达到了国际先进水平。

重庆齿轮箱有限责任公司独立研制的 GVL1400 双机并车带 PTO 船用离合减速齿轮箱，可以满足大中型运输船舶、海洋工作船舶、军用舰船的主动力配置要求，为国家节约了大量外汇，也为公司和用户创造了较高经济效益和社会效益，在国内得到大力推广应用。公司不断推出该成果的变形产品，2009 年为公司创造 4 700 万元的销售收入，其稳定的质量、优秀的性能也为船厂赢得了丰厚的订单，同时带动了相关协作厂家的发展，为中国造船事业作出了突出贡献。

（3）汽车自动变速器成套齿轮近净成形关键技术开发及产业化　近净成形技术属于塑性成形技术的发展前沿，是组成现代制造技术的高新技术，是新材料技术、现代模具技术、计算机技术和精密测量技术与传统的锻造、挤压、冲压等工艺方法相结合的产物。它使成形加工的制件达到或接近最终零件产品的形状和尺寸，实现质量与性能的优化，缩短制造周期和降低生产成本。该项技术包括近净形铸造成形、精确塑性成形、精密热处理改性、表面改性及高精度模具等专业领域。近净成形工艺是一种少无切削加工新工艺，生产的锥齿轮具有精度高、组织致密、接触疲劳强度和弯曲强度高、节约能源、保护环境、材料利用率高等优点。

1）项目主要内容。

①闭式温冷精锻复合成形工艺，包括精密锻件设计方法、合理的变形方式及分流原理的应用。

②成形规律及变形机理：变形速度、表面接触状态等主要因素对金属在型膛内沿轴向与径向的流动的影响规律；挤压成形过程中，工件内部金属质点流动速度场、应力场、应变场以及损伤值分布场等物理场量信息。

③工艺优化：毛坯形状及尺寸、预锻件形状与尺寸、终锻件的形状与尺寸优化设计，给出成形力的计算方法。

④模具结构设计及仿真：优化设计模具结构，并进行虚拟仿真。应用 CAD/CAE/CAM 软件进行二次技术开发，采用 PLM/CAPP 系统集成，完成近净成形齿轮

模具的自主开发与设计制造，实现了汽车零件近净成形及模具技术的产业化。

2）项目特点。

①采用近净加工技术，产品精度高，金属纤维连续，锥齿轮弯曲疲劳强度、使用寿命和材料利用率显著提高，制造成本降低 20% 以上。产品采用无氧化、无脱碳等温正火的先进工艺，可以有效控制冷却过程中的相变，获得均匀且较细的珠光体 + 铁素体组织。

②复合锻造使锥齿轮结构得到改进，耗材比切削加工减少了 30%～ 50%，生产效率得到大幅提高。

③通过双温淬火强韧化处理，复合锻模具冲击韧性 a_k 值能够提高 1 ～ 3 倍，使复合锻造模具不会早期断裂失效，合金钢制造的模具使用寿命平均大于 1 万件，与进口模具寿命相当，而模具成本仅为进口模具的 1/5 左右。

产品经江苏省质量技术监督液压件 / 齿轮传动产品质量检验站检测合格，产品性能均一次性通过客户功能认证。部分产品经江苏省经济贸易委员会组织召开的科技成果鉴定会鉴定，鉴定委员会一致认为该产品制造工艺处于国内领先地位，达到国际先进水平。现已累计新增销售 18 221 万元，利润 3 476 万元，上缴税收 1 965 万元。

（4）高性能船舶动力传动系统齿轮箱关键技术及产业化　大型、高速船用齿轮箱要求大转矩、小体积、高可靠性、高效率、低噪声和低成本，其性能远远高于其他齿轮箱，目前基本上依赖于进口，成为大型、高速船舶国产化亟待解决的关键问题。项目通过对高功率密度大型重载和小角度高速船用齿轮箱设计制造关键技术的研究，使国产高性能船用齿轮箱接近或达到国际先进水平，从而替代进口，打破国外产品的垄断局面。

项目针对高性能船用齿轮箱设计制造关键技术，开展高功率密度船用齿轮箱传动系布置及其与整机的匹配技术、离合器结构布置及控制技术、离合器摩擦材料研究开发及离合器热负荷分析、轴系支承形式及可靠性研究；硬齿面齿轮制造及精度保证技术、齿轮热处理及变形控制技术、齿面强化技术、高功率密度重载船用大型齿轮箱体加工技术研究；空间交错小角度斜齿轮传动系统结构设计、齿面啮合特性分析、齿轮传动热弹耦合分析及参数优化、离合换档过程动态响应分析、小角度斜齿轮加工及精度保证技术研究；高速船用小角度齿轮箱箱体设计与制造技术高速船用空间交错小角度齿轮箱体结构设计、轴系支承结构设计、轴线空间相交的孔系加工及检测技术研究；高速船用小角度传动齿轮箱试验台结构布

置方案、试验台设计、试验检测及分析评估技术研究；大功率船用齿轮箱啮合接触特性及承载能力分析、耦合非线性动态特性分析、振动噪声测试分析及减振降噪技术研究。掌握船用齿轮箱设计制造共性关键技术，实现高速、重载船舶动力齿轮传动系统的高可靠性、高效率、低噪声和低成本，形成自主设计制造能力。完成 GW60.66、GW66.75、GW70.76、GW70.85、GW78.88 等 5 兆瓦级以上系列大功率重载船用齿轮箱和 HCA138、HCA300、HCA301 等小角度（5° ～ 10° ）高速船用齿轮箱国产化研制，产品通过中国、美国、日本、法国等船级社认证，实现批量生产，从而替代进口产品，填补了国内技术空白，推动我国船舶传动装置技术进步，打破了国外技术垄断局面。获权或申报国家专利 12 项，制定国家和行业标准 1 项，发表和录用被 SCI、EI 收录在内的高水平学术论文近十篇。产品销往国内及新加坡、菲律宾和我国台湾等市场，实现新增产值 2.4 亿元，取得了较大的经济和社会效益。

（5）FD1660 型风力发电机齿轮箱　该产品采用一级行星 + 二级平行轴联合传动的形式，行星级采用太阳轮浮动，以实现均载目的；采用前中后箱体结构形式，便于拆装维修；箱体内外布置了适当数量的加强筋，既美观又增加了刚度；平行轴传动采用三角形配置，结构紧凑，体积小，重量轻；润滑采用循环与油池相结合的方式，达到既安全又经济的目的。FD1660 型风力发电机齿轮箱已部分安装在呼伦贝尔风电场的风力发电机组上，有的已运行超过一年时间，在各档次负荷直至额定负荷条件下均已运行正常，工作平稳，能满足各风力发电机组的技术要求，其主要性能指标达到设计要求。

当今世界各国都十分重视绿色再生能源的利用，风电发展前途十分广阔，风电设备制造产业现在已成为世界上发展最快的产业之一。FD1660 型风力发电齿轮箱的研制成功填补了国产化风电设备的空白，而且直接出口到欧美国家，提高了我国风电行业机电产品的水平。该公司通过近几年来风电齿轮箱的试制生产实践，取得了一定的设计和生产经验。已备有一批高精度、高质量的热处理设备、焊接设备、镗孔设备、滚齿磨齿设备及相关的加工设备，并掌握了整套的偏航变桨齿轮箱零件加工、装配、试车的相关质量控制技术。目前已经具备了 FD1660 型风力发电机齿轮箱的批量生产能力，完全有能力批量生产出高水平、高质量、具有国际先进水平的产品。

（6）JRT0540 扶梯减速器　作为自动扶梯核心主机的传动部件减速器，目前绝大多数使用的是德国 FLENDER 公司生产的蜗杆减速器。该减速器最大的优点

是噪声低，容易满足使用工况的要求，但也有如下明显的缺点：①传动效率低，浪费大量的电能；②德国产品价格昂贵；③因是蜗杆蜗轮传动，使用寿命较低。

该项目的要点是开发一种具有满足低噪声、高效率、长寿命的硬齿面齿轮减速器替代德国 FLENDER 蜗杆蜗轮减速器。其主要内容是选择硬齿面齿轮传动替代蜗杆蜗轮传动，硬齿面齿轮传动本身效率高、寿命长，核心问题是低噪声齿轮传动要求的难度很大，国内还没有企业具有解决能力。

该减速器技术经济指标为：①空载噪声小于等于 60dB(A)，无异响；②满载噪声小于等于 65dB(A)，无异响；③传动效率大于等于 96%；④寿命大于等于 60 000h；⑤无渗油。

该项目的开发成功，表明我国在低噪声齿轮传动技术的研究方面进入了国际先进水平，在推动行业技术进步方面起了一个带头示范作用，在促进我国民族工业尽快赶超国际先进水平方面发挥了积极作用。

该项目于 2006 年开发成功，并在西子奥的斯电梯有限公司推广运用，并逐步替代德国 FLENDER 蜗杆减速器；截至 2008 年 9 月，已投放市场 3 662 台，并替代德国 FLENDER 蜗杆减速器。

该产品的创新点是：①独特的低噪声齿轮修形设计与控制；②整机结构经过降噪设计，噪声低于 60dB(A)；③轴承间隙装配的优化；④改进了密封技术。

该产品环保节能，节能效果达 20% ～ 30%，经过市场的检验，深受用户欢迎，具有显著的经济效益和社会效益。

JRT0540 扶梯减速器被评为 2008 年度中国齿轮行业优秀新产品特等奖。

（7）高参数特种齿轮泵关键技术及系列产品研发　该项目针对输送用高参数内啮合摆线齿轮泵和外啮合齿轮泵，进行了关键技术攻关和系列产品开发，主要研究内容有：①内啮合齿轮泵的啮合理论研究、性能分析及参数优化；②摆线轮齿廓曲线的自动生成和快速制造技术研究；③少齿数外啮合齿轮泵啮合特性分析；④外啮合齿轮泵的三维自动建模、智能 CAE 分析集成技术研究；⑤牛顿流体和非牛顿流体外啮合齿轮泵的流量、瞬时流量分析、漏流计算及侧隙优化、输入特性计算；⑥两种类型三大系列共计 22 种规格的齿轮泵产品的开发；⑦齿轮泵试验台建设及实验研究；⑧产业化研究及应用等。

该项目关键技术及创新点有：①完成了内啮合齿轮泵摆线轮齿廓的自动生成，实现了轮齿的高效、高精度制造；②完成了轮齿智能 CAE 分析技术研究，为齿轮泵轮齿的强度计算提供了高效分析手段；③完成了牛顿流体和非牛顿流体齿轮泵

的流量计算、瞬时流量及漏流分析和数值模拟，建立了径向间隙和轴端间隙的优化模型，大大提高了参数设计的效率和质量等。

该项目在内啮合齿轮泵齿廓的自动生成、外啮合齿轮泵转子的 CAD/CAE 集成研究以及齿轮泵特性分析和参数优化、齿轮泵设计制造集成技术等方面均有创新，达到了国际先进水平。

该项目成果突破了国外技术封锁和价格垄断，形成了一套较完整的齿轮泵设计、分析及制造技术。研发的两大类三种系列的高参数齿轮泵，其主要性能指标达到了国外同类产品的先进水平，完全可以替代进口产品。该项目产品已在四川维尼纶厂、宁波大发化纤有限公司等企业成功应用。为用户新增产值 12.3 亿元，新增利税近 3 亿元，可节约设备进口费用 2.4 亿元。

（8）YK7236A 数控蜗杆砂轮磨齿机　YK7236A 数控蜗杆砂轮磨齿机是陕西秦川机械发展股份有限公司近年来开发的新产品，适用于中等规格齿轮的批量磨削加工。该机床具有精度高、效率高、可靠性高的特点，可满足三班制连续工作的要求，广泛应用于摩托车、汽车、机床及工程机械等行业。

该项目关键技术与创新点有：①数控同步传动，采用法国 NUM 公司的 Power1050H 数控系统和 MDLU3 数字伺服驱动系统，砂轮旋转轴、工件旋转轴、工件径向进给轴、工件切向进给轴和工件轴向进给轴可同时进行进给磨削，完成分齿传动、轴向差动、切向差动、齿向修形等动作，简化了机械传动链；②采用具有实时补偿功能的数控电子齿轮箱，可以补偿齿向的各种误差，提高了机床的磨削精度和齿面质量；③连续位移磨削，工件切向进给轴和工件旋转轴联动时，处于连续位移状态，即在磨削过程中，处于磨削区的砂轮表面始终处于新修整状态，具有良好的切削性能，从而提高磨削效率；④数控齿向修形，通过数控系统来控制工件径向进给轴和工件轴向进给轴的运动关系，以磨削出所需要的齿向形状，齿向修形优化技术确保了修形齿轮的磨削质量；⑤自动磨削循环，保证了批量生产的一致性；⑥手动磨削循环，用于单个工件的磨削和工件的再磨削；⑦砂轮自动修整循环，保证了砂轮修整精度，延长了金刚石滚轮的使用寿命；⑧智能 CAM 控制软件与人机界面，自主开发的软件具有参数、符号、图形化的人机界面，加工程序的生成与优化，误差修整，故障诊断等功能，软件全部运行在 NC 层面，实时性好，可靠性高，机床操作简便；⑨砂轮与工件自动啮合及工件两侧齿面余量自动分配；⑩附件功能完善，静电吸雾装置改善了工作环境，随机动平衡装置大大减少了砂轮平衡时间。

该磨齿机技术规格为：最大工件外径为 ϕ360mm；工件齿数为 12 ～ 260；工件模数为 1 ～ 6mm；最大齿宽（直齿轮）为 190mm；工件螺旋角为 ±45°；工件最大质量（含夹具）为 60kg。

YK7236A 数控蜗杆砂轮磨齿机自投产以来，累计生产和销售了 140 台，实现销售收入近 3 亿元。该公司研发了系列数控蜗杆砂轮磨齿机，打破了国外机床制造巨头的技术垄断和价格操控，为我国装备制造业的快速发展做出了巨大贡献。

（9）CBTDH-F×× 高压低噪声液压齿轮泵　CBTDH-F×× 系列高压低噪声液压齿轮泵是满足主机技术进步需要和替代进口而研发的新产品项目。

项目创新设计了齿轮泵的主、从齿轮的轮齿两面节圆与齿高不同模数的特殊齿形，有效地降低了齿轮泵的传动噪声和困油噪声，同时提高了齿轮啮合重合度，减小齿轮的径向力，克服高压差下齿面液压油的泄漏。

CBTDH-F×× 系列高压低噪声液压齿轮泵采用特种铝合金减磨材料的整体轴套、双向浮动、零间隙密封等设计和采用了提高产品可靠性的多项新技术、新工艺。齿轮泵的使用寿命，满足了齿轮泵在高温、高压下的使用性能要求。

CBTDH-F×× 系列高压低噪声液压齿轮泵结构紧凑，外形美观大方；泵体、后盖都可加工油口，油口可以分为法兰和螺纹形式，多种轴伸形式，实现了连接方式多样化，满足了多用户的要求。

该项目研发成功，解决了蓄电池叉车等工业车辆及制鞋机械、注射机械等对高压、高速、高寿命条件下低噪声齿轮泵的要求；市场销售良好，替代了进口。2006 年，该项目实现销售收入 440 万元，实现利润 70 万元，上缴税金 62 万元。2006 年通过安徽省经济委员会组织的新产品鉴定，其产品处于国内领先水平。

该项新产品用在室内仓储用蓄电池叉车上，作为其液压系统的动力源，各项性能指标满足主机设计要求。其中噪声性能接近进口产品水平，容积效率优于进口产品。价格适中，供货及时，满足了主机厂商国产化需求，替代了进口产品。该产品的应用使主机的环境噪声得到大幅度降低，具有明显的环保作用，提高了国内叉车的技术含量和产品质量，增强了国产叉车与国外产品的竞争能力。产品技术的推广使得齿轮泵在噪声方面有良好的改观，改变齿轮泵使用环境噪声大的不利影响，对齿轮泵的推广起到了一定的积极作用。该产品具有较高的社会效益。

附录 G　齿轮行业近期部分科研项目介绍

1. 高速、重载、精密机械传动系统关键技术研究㊀

（1）取得的成果

1）掌握了风电 / 船舶 / 燃机齿轮箱高功率密度设计及优化、可靠性评价及关键零部件制造和特大模数齿轮齿条精密切割成形技术。

2)掌握了风电 / 船舶 / 燃机齿轮箱和特大模数齿轮齿条检测和试验关键技术。

3）研制的 1.5MW、2MW 风电齿轮箱实现批量化生产，产品达到国际先进水平，通过了德国 DEWI、TÜV、GL 的认证，产品销往通用、恩德、瑞能、日本富士等国际著名公司和东汽、国电、华仪、运达等国内大型企业。

4）研制的 GWC70.85（7.68MW、800r/min）等大功率船用齿轮箱实现批量化生产，产品达到国际先进水平，通过 CCS、ABS、BV、NK、GL 等国际船级社认证。

5）研制的 HCA300（625kW、3 000r/min）等高速小倾角船用齿轮箱和 5MW、5 000 r/min燃机齿轮箱实现小批量化生产,产品达到国际先进水平,填补了国内空白。

6）研制的板厚 114.3mm（模数 40.64mm）、140mm（模数 80.85mm）、191mm（模数 80.85mm）等齿轮齿条通过中国船级社（CCS）和美国船级社（ABS）审查，实现了批量化生产。

7）建成了大型风力发电机组齿轮箱、大功率船用齿轮箱、特大模数齿轮齿条生产示范基地，实现新增产值超 30 亿元。

8）已制定风电齿轮箱标准、船用齿轮箱和大模数齿轮齿条等国家标准 4 项，新建国家级技术中心 1 个、国家级企业博士后工作站 1 个、省级重点实验室 1 个、行业工程中心和重点实验室各 1 个。

9）申请专利 24 项，其中发明专利 11 项、实用新型专利 13 项；获授权专利 15 项，其中发明专利 5 项、实用新型专利 10 项；在国内外重要期刊上发表学术论文 23 篇（SCI/EI 刊源 12 篇）。

10）获省部级科技进步二等奖 2 项。

11）形成了一支从事大型高速、重载齿轮传动装置研究开发的专业队伍，培养博士研究生 5 人，硕士研究生 20 人，已有 16 人获硕士学位，4 人获博士学位。

㊀ 项目来源于国家科技支撑计划“关键基础件和通用部件”重点项目。

（2）研究内容

1）在高速、重载齿轮传动关键设计技术研究方面，利用齿轮啮合理论和行星齿轮传动功率分流原理，研究了小倾角高速传动齿轮箱、兆瓦级风电齿轮箱、重型船用齿轮箱以及高速重型燃机齿轮箱的传动方案，并采用热弹耦合分析方法、结构优化方法和可靠性设计理论，提出了相应的高功率密度设计方案和结构，成功应用于产品开发中。相关产品的传动方案和结构如图 G-1 所示。

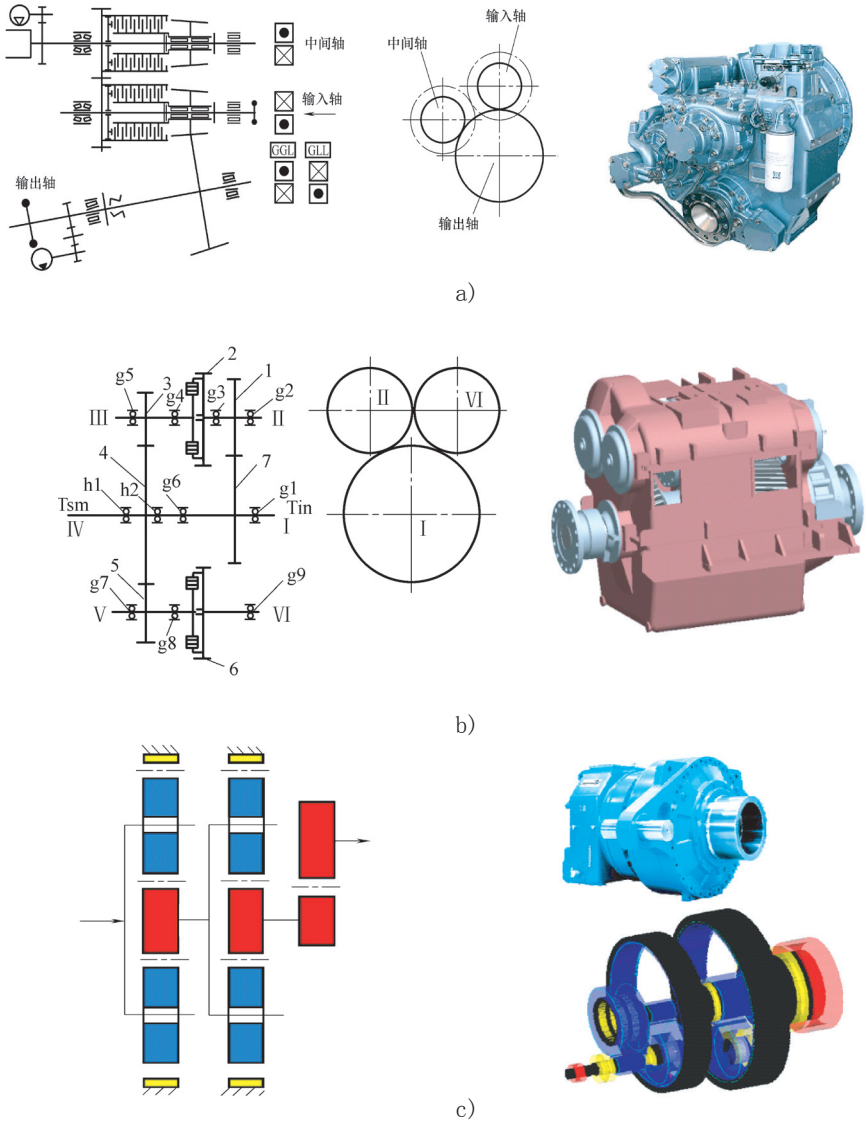
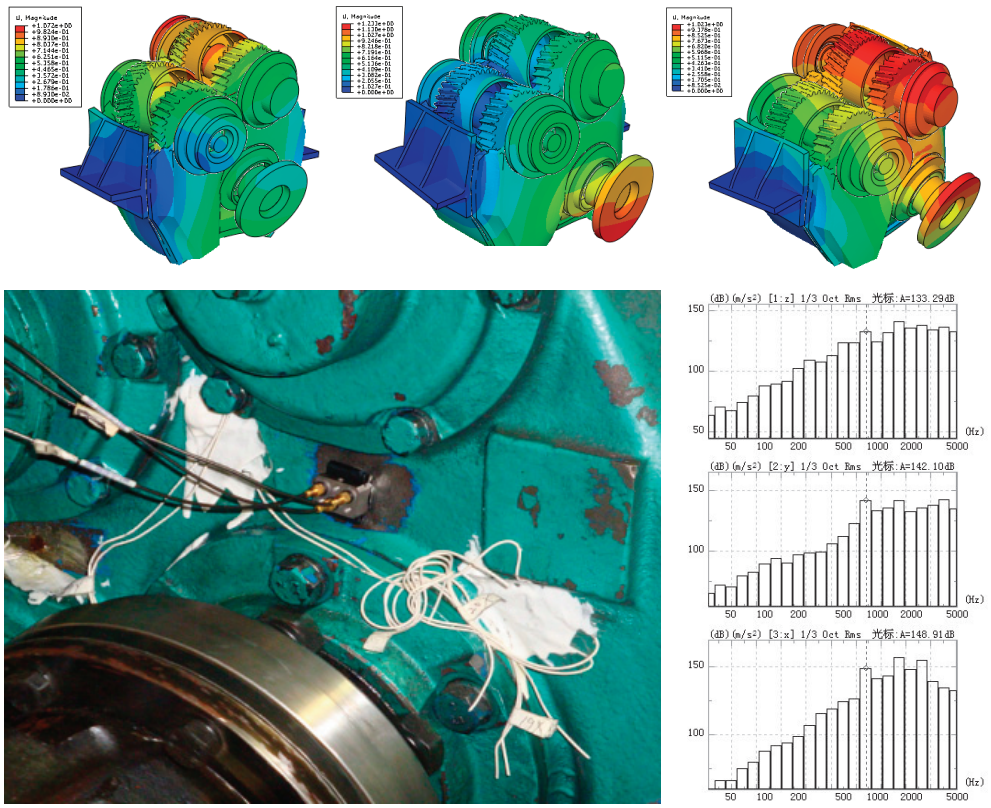


图 G-1　项目齿轮箱的传动方案和结构

a）小倾角高速船用齿轮箱　b）重型船用齿轮箱　c）2.5MW 风电齿轮箱

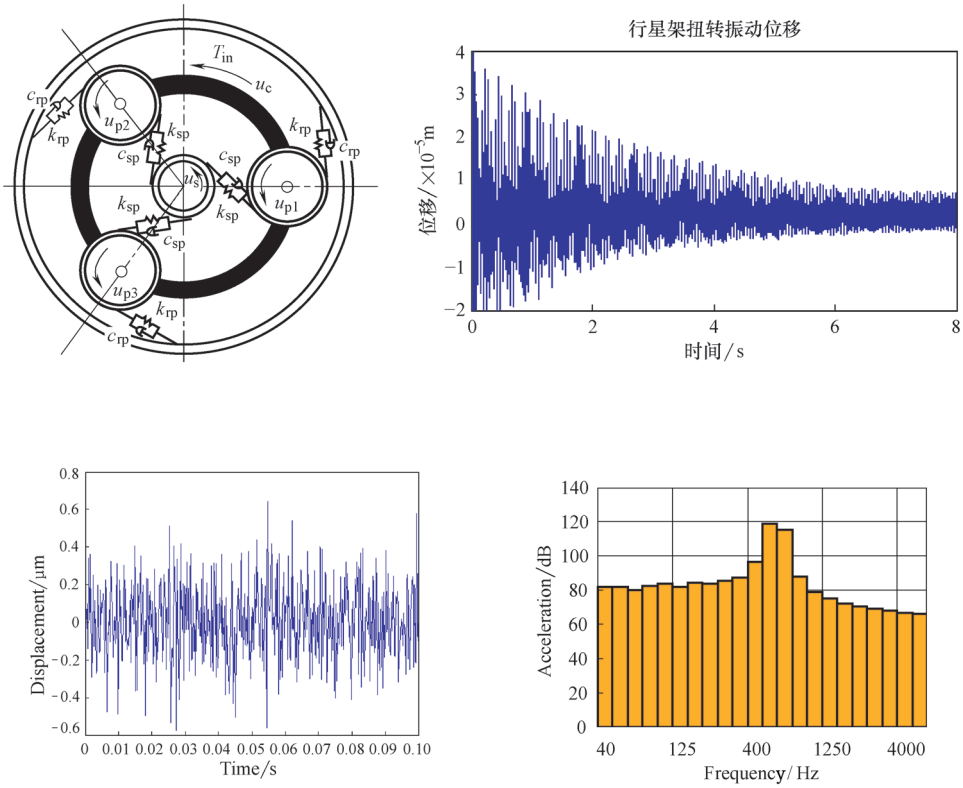
2）在高速、重载齿轮传动的振动噪声控制方面，采用了非线性耦合动力学分析方法研究齿轮箱的动态特性，并采用相应控制措施使所开发产品的动态性能指标达到国际先进水平。通过高速船用齿轮箱离合换档过程动态响应分析、振动噪声测试分析，采用轮齿修形、结构刚度调整降低了齿轮箱的振动噪声。在风电齿轮箱动力学特性研究方面，采用集中参数法建立了风电齿轮传动系统的动力学模型，分别利用谐波平衡法和有限元法计算了系统在不同输入载荷频率下的响应，其结果为多自由度系统的动态优化设计提供了指导。在高速重型燃气轮机齿轮箱动态特性研究方面，建立由齿轮－轴－轴承－箱体组成的燃机齿轮箱转子动力学模型，研究了转子的阻尼固有频率特性，以及轴承支承刚度对转子临界转速的影响，为高速转子的动平衡设计提供了依据。相关产品的动态分析结果如图 G-2 所示。



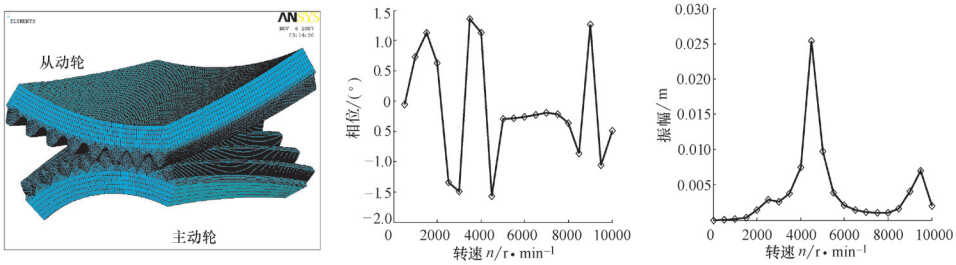
a)

图 G-2　项目齿轮箱的动态特性分析

a）小倾角高速船用齿轮箱



b)

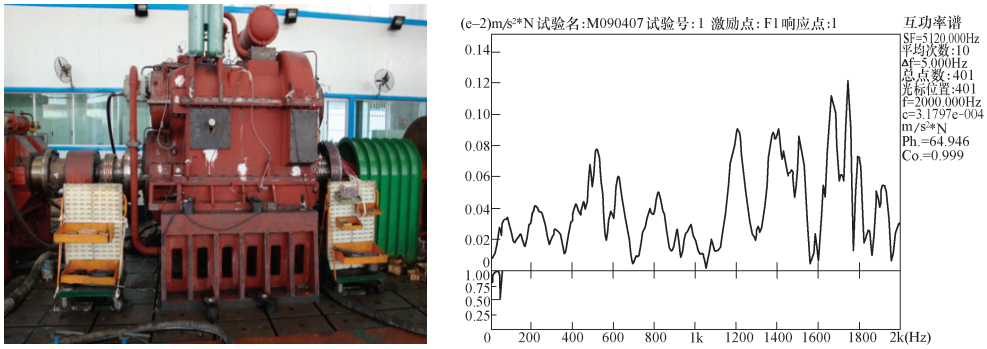


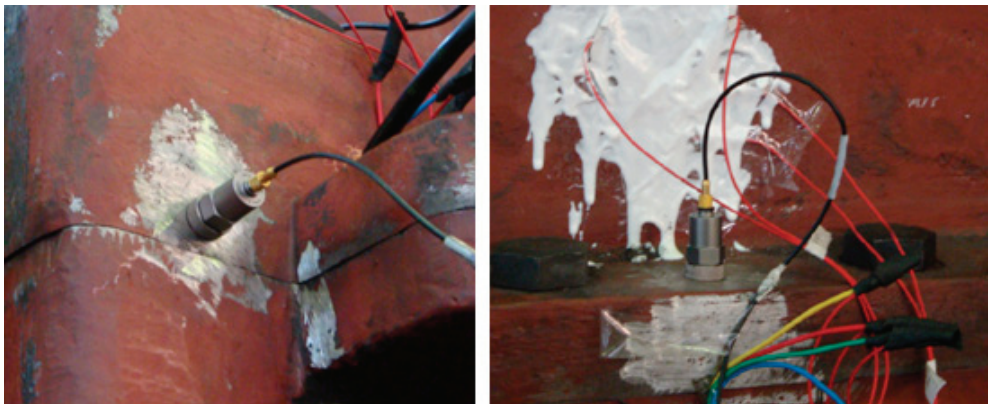
c)

图 G-2　项目齿轮箱的动态特性分析（续）

b）风电齿轮箱　c）高速重型燃机齿轮箱

3）在高速、重载齿轮传动的检测与试验技术方面，根据相关产品的性能要求和使用环境，完成了相应的检测与试验。研究了高速船用小角度传动齿轮箱试验台结构布置方案、试验检测及分析评估技术。通过引进西门子电力拖动及测试技术，开发了 6MW 风电齿轮箱试验台，完成了变负载和超负载试验、频率及振动测试、润滑试验、齿面的应力测试、可靠性强化试验、低温试验，验证了所开发的风电齿轮箱在不同工况条件下的可靠性。相关产品的试验如图 G-3 所示。



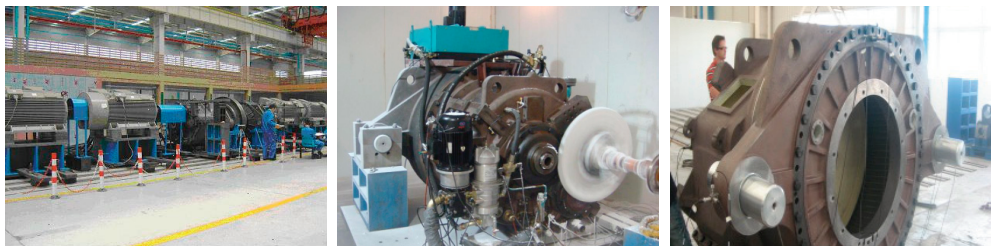


a)

图 G-3　项目齿轮箱的性能试验

a）重型船用齿轮箱

b）



c）

图 G-3　项目齿轮箱的性能试验（续）

b）小倾角高速船用齿轮箱　c）风电齿轮箱

（3）突破的主要关键技术

1）利用产学研合作的条件，通过自主研发，掌握了兆瓦级风电齿轮箱多级和多行星轮功率分流、均载技术以及变工况条件下的振动噪声控制技术，大型薄

壁内齿圈齿面强化和热处理变形控制技术，高效率低成本加工技术，-40℃低温条件下风电齿轮箱的润滑技术。

2）在引进、消化、吸收的基础上，掌握了大型重载、高速船用齿轮箱高功率密度设计技术，完成了 5MW 级以上系列大功率重载船用齿轮箱和 HCA 系列小角度高速船用齿轮箱的开发。

3）通过自主研发，掌握了高速船用齿轮箱空间交错小角度斜齿轮传动设计、齿面接触精度保证、小角度斜齿轮及箱体轴线空间相交的三轴孔系加工技术。

4）在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上，通过产学研合作方式，掌握了高速、重载燃气轮机齿轮箱传动系统稳定性和转子动力学分析技术、可倾瓦滑动轴承设计技术、高速人字齿热分析技术、承载能力及可靠性分析技术、大型硬齿面齿轮的精密加工技术（精度达到 ISO1328：1995、1997 标准的 3 ～ 4 级）。

5）掌握了大模数特大齿宽齿条数控火焰切割技术，切割精度和表面粗糙度均达到了国外同类产品水平，填补了我国数控火焰切割成形大模数齿条工艺技术的空白。

（4）主要技术创新点

1）特殊工况和恶劣环境条件下大型高速、重载齿轮箱高功率密度设计、可靠性评价及振动噪声控制技术。

2）多级和多行星轮风力发电齿轮箱功率分流及均载、大型薄壁内齿圈高精度齿形加工及齿面硬化技术。

3)高速重型燃气轮机齿轮箱系统稳定性及转子动力学分析、齿轮传动热分析、高精度大型齿轮加工技术。

4）高速船用空间交错小角度斜齿轮传动设计、齿面接触精度保证、小角度斜齿轮及箱体轴线空间相交的三轴孔系加工技术。

5）硬齿面、中硬齿面特大模数齿轮齿条精密切割技术。

6）-40℃低温环境下风力发电齿轮箱材料、密封及润滑系统和整机起动性能试验评价技术。

7）基于疲劳寿命分析的风力发电齿轮箱加速疲劳试验技术，实现了风力发电齿轮箱 20 年寿命当量模拟试验。

（5）取得的知识产权情况（表 G-1）

表 G-1　专利情况

序号	专利名称	专利号	类别
1	船用齿轮箱	ZL200710092962.4	发明
2	同轴对转高速行星齿轮传动装置	ZL200710078311.X	发明
3	行星齿轮传动减速器	ZL200710078156.1	发明
4	混合驱动型风力发电机增速齿轮箱	ZL200710191373.1	发明
5	湿式铜基粉末冶金摩擦片及制造方法	ZL200710157157.5	发明
6	单转电动机反力矩平衡传动系统	2009101038306	发明
7	行星轮传动装置	2009101038293	发明
8	小倾角传动齿轮箱	200810070212	发明
9	粉末冶金摩擦材料自动模压成形工艺	200710157158.X	发明
10	具有小夹角并能双向输出的三轴三齿轮传动装置	200910096837	发明
11	风力发电机齿轮箱中的润滑机构	200910032121	发明
12	风力发电机用增速齿轮箱	ZL200720131399.2	实用新型
13	下风向型风力发电机增速齿轮箱	ZL200720131390.1	实用新型
14	用于风力发电机增速齿轮箱	ZL200720131395.4	实用新型
15	混合驱动型风力发电机增速齿轮箱	ZL200720131394.X	实用新型
16	大功率船用齿轮箱	ZL200720113546.3	实用新型
17	倾角传动的齿轮箱	ZL200520101426.2	实用新型
18	轻型高速倾角传动船用齿轮箱	ZL200520101425.8	实用新型
19	大功率船用齿轮箱	ZL200820086212.6	实用新型
20	自升式海洋钻井平台新型海水塔	ZL200920230900.5	实用新型
21	自升式海洋钻井平台升降装置	ZL200830080785.3	实用新型
22	大功率船用齿轮箱	200920005983	实用新型
23	新型自升式海洋钻井平台升降装置	200920296930	实用新型
24	变中心距齿轮传动的随动座装置	ZL200920091404	实用新型

（6）完成技术标准情况（表 G-2）

表 G-2　制订及修订标准

序号	标准名称	级别
1	风力发电机组 齿轮箱	国家标准 GB/T 19073—2008
2	大模数齿轮齿条精度	国家标准①
3	船用齿轮箱离合器片 技术条件	行业标准 JB/T 6652—2010
4	船用中速柴油机齿轮箱	行业标准 CB/T 3003—2011

①该标准正在审批过程中，暂无标准号。

（7）开发出的新产品的主要技术参数

1）GWC70.85 大功率船用齿轮箱（表 G-3）。

表 G-3　GWC70.85 大功率船用齿轮箱主要技术参数

项目	主要技术参数
齿轮传动形式	圆柱斜齿轮五轴七齿轮二级减速传动
离合器形式	液压操纵湿式多片摩擦离合器
额定转速	≤ 750r/min
传递能力	6.27 ～ 19.2kW/r·min^{-1}
承受螺旋桨推力	≤ 800kN
工作油压	1.6 ～ 1.9MPa
齿轮箱油温	＜ 65℃
质量	30t
最大齿轮参数	模数为 16mm，螺旋角为 8°，齿宽为 395mm，直径为 1 400mm，精度等级为 4 级

2）HCA300 型船用齿轮箱（表 G-4）。

表 G-4　HCA300 型船用齿轮箱主要技术参数

项目	主要技术参数
齿轮传动形式	垂直异中心三轴五齿轮外啮合传动
离合器形式	液压湿式多片摩擦离合器
输入联轴器形式	齿形橡胶块弹性联轴器
额定输入转速	1 000 ～ 2 500 r/min
减速比和传递能力	1.5、2.95，0.25kW/r·min^{-1}
额定螺旋桨推力	≤ 40kN
工作油压	1.4 ～ 1.6MPa
机械效率	≥ 96%
可工作倾斜度	纵倾 10°，横倾 15°
外形尺寸	620mm×585mm×753mm
净重	370kg
输出轴下倾角	10°

3）TP55 燃机负荷齿轮箱（表 G-5）。

表 G-5　TP55 燃机负荷齿轮箱技术参数

项目	主要参数	项目	主要参数	项目	主要参数	项目	主要参数
正常供油压力	0.137 ～ 0.173MPa	正常供油温度	55℃	额定功率	55MW	使用方式	减速
允许供油压力	0.11 ～ 0.21MPa	最高供油温度	74℃	螺旋角	26°45'	转速（低速轴 / 高速轴）	3 000/5 163 r/min
起动最低供油压力	0.07MPa	起动最低供油温度	20℃	节圆线速度	131.15m/s	齿轮精度	3 级
高速轴正常振动值	≤ 40 μm	高速轴报警振动值	75 μm	低速轴振动值	≤ 50 μm	低速轴报警振动值	90 μm

4）FD1660 风电齿轮箱（表 G-6）。

表 G-6　FD1660 风电齿轮箱技术参数

项目	主要技术参数
额定功率	1 660kW
额定输入转速	17.4 r/min
传动比	104
机械效率	≥ 97%
使用环境温度	-40 ～ 50℃
噪声	≤ 95dB(A)
使用寿命	20 年
使用系数	1.3
弯曲安全系数	≥ 1.7
接触安全系数	≥ 1.45
轴承寿命	175 000h

5）FD2250 风电齿轮箱（表 G-7）。

表 G-7　FD2250 风电齿轮箱技术参数

项目	主要技术参数
额定功率	2 250kW
额定输入转速	17r/min
传动比	105.6
机械效率	≥ 97%
使用环境温度	-40 ～ 50℃
噪声	≤ 95dB(A)
使用寿命	20 年
使用系数	1.3
弯曲安全系数	≥ 1.7
接触安全系数	≥ 1.45
轴承寿命	175 000h

（8）建成的试验基地、中试线、生产线　建成了大型风力发电机组齿轮箱、大功率船用齿轮箱、特大模数齿轮齿条生产等示范基地。在南京高速齿轮制造公司建成的大型风力发电机组齿轮箱生产线，已具备年产 6 000 台的能力，其生产能力和销售产值已排在国内第一位。在杭州前进齿轮箱集团有限公司建成的大功率船用齿轮箱生产线，已形成年产 500 台的能力。在郑州机械研究所建成的特大模数齿轮齿条生产线，具备年产宽度 220mm 以下、模数 50mm 以上的齿轮齿条传动装置 400 套的生产能力。

（9）在国家重大工程建设或重大装备开发中发挥的作用　随着我国国民经济的发展，电力供应日益紧张，严重制约了我国经济的高速发展。由于火力发电对环境的影响，加之火力发电受煤炭运力的限制，国家正限制发展火电。风力发电是一种清洁、环保和不消耗资源的能源制造系统，已被列入国家中长期科技发展规划重点发展的领域。我国风能资源丰富，陆地约有 2.53 亿 kW，海上初步估计可开发约 7.5 亿 kW，合计约 10 亿 kW。随着经济的快速发展，环保要求越来越高，能源形势越来越严峻，可再生能源开发已经被提升到国家发展的战略高度。本课题的实施打破了我国兆瓦级风电齿轮箱依靠进口的局面，为我国兆瓦级风力发电机的国产化提供重要的支撑。所研发的风电齿轮箱已用于呼伦贝尔风电厂、中广核内蒙古辉腾梁一期工程、建投河北海兴一期工程、湘投内蒙古化德一期工程、华能江苏启东一期工程、宁夏贺兰山二期工程、大唐河南三门峡一期工程等。从用户反馈信息可知，该齿轮箱工作平稳，噪声低，工作故障率低，效率高，其性能指标处于国内领先，达到国际先进水平。

大型高速船用齿轮箱由于其特殊的使用条件，要求承载能力高、体积小、重量轻，综合技术指标远远高于其他船用齿轮箱，目前大型高速船用齿轮箱基本上依赖进口。如德国弗兰德、伦克和采埃孚公司生产的船用齿轮箱，基本上垄断了全球市场，国内大型高速船用齿轮箱市场的 90% 也被上述公司占据。大型高速船用齿轮箱的国产化是大型高速船亟待解决的关键问题，通过对大型高速船用齿轮箱关键技术进行研究和攻关，国产大型高速船用齿轮箱可接近或达到国际先进水平，从而替代进口产品，这不仅是大型高速船舶国产化发展的需要，也是推动我国船舶传动装置技术进步、打破国外产品的垄断局面的需要。所开发的大功率船用齿轮箱已用于 22 000t、26 000t 散货船、11 000t 多用途船和 14 000t 化学品船等大型船舶。从用户反馈信息可知，该齿轮箱的性能指标处于国内领先，已达到国际先进水平。

由于重型燃气轮机齿轮箱运行在极端工况条件下，对高速动力学特性、热变形及润滑方面有更严格的要求，目前国内市场基本上被国外公司垄断。因此，研究开发重型燃气轮机齿轮箱设计制造关键技术，以及实现齿轮箱产业化，具有较大的经济效益和市场前景。

自升式平台在国内外海洋勘探和开发中，特别是在近海海洋石油开发中，发挥着巨大的作用。作为自升式平台中关键部分的升降系统，其性能的优劣直接影响平台的安全性和使用效果。特大模数齿轮齿条设计制造关键技术的研究，所开发的大模数齿轮齿条已用于中海油服（渤海、胜利、南海）钻井平台的齿轮齿条升降系统中，这是我国自主开发生产的特大模数齿轮齿条首次用于钻井平台升降系统中，具有广阔的市场前景和良好的经济效益。在实际应用中效果良好，可替代进口。

（10）取得的成果对行业技术发展的作用　以高速船用减速器、重型燃气轮机齿轮箱、兆瓦级风力发电齿轮箱及海洋平台齿轮齿条升降机构为代表的重载机械传动系统是大型机械装备的重要基础件，在国民经济建设和国防装备中处于极其重要的地位，其性能的优劣直接影响重大机械装备的综合性能和寿命。本课题的实施提高了我国基础传动件自主创新能力和技术水平，推动了行业技术进步，提高了重大装备制造业的核心竞争力，发挥了重要的支撑作用。本课题的研究不仅提高了我国高速重载齿轮传动的技术创新能力和手段，也培养和锻炼了一批高技术水平的科技人员。

本课题的研究成果支撑了兆瓦级风力发电齿轮箱、大功率船用齿轮箱、高速小倾角船用齿轮箱、重型燃气轮机齿轮箱和特大模数齿轮齿条新产品的开发，建成的大型风力发电齿轮箱制造基地，已成为行业最大的龙头企业，大功率船用齿轮箱、高速小倾角船用齿轮箱、重型燃气轮机齿轮箱和特大模数齿轮齿条制造基地已处于国内领先地位。

2. 三峡升船机铸造齿条大型试验装备开发及质量评定[㊀]

（1）立项背景

1）三峡升船机是三峡工程中的重大装备。长江三峡水利枢纽是治理和开发长江的关键性骨干工程，具有防洪、发电、航运等巨大综合效益，备受国人瞩目。三峡水利枢纽的通航建筑物布置于枢纽左岸，包括双线五级船闸和船闸右侧的垂直升船机。升船机能够将超过 3h 的船舶经船闸过坝时间缩短至 40 ～ 60min，是

㊀ 项目来源于“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项。

用于客轮快速过坝的重要通航设施。作为三峡工程的重要组成部分，三峡升船机计划于 2015 年试运行，这是关系到三峡工程能否顺利通过总体验收的最后一个工程。

三峡升船机是目前世界上规模最大、技术难度最大的升船机，其中最关键的驱动升降传动机构采用了齿轮齿条传动装置。三峡升船机的过船规模达 3 000t 级，最大提升高度为 113m，承船厢总质量约 13 000t，上下游通航水位变幅分别为 30m 和 11.8m，是目前世界上运行条件最复杂、技术难度最高的升船机。三峡升船机采用齿轮齿条爬升平衡重式垂直升降系统，其主体设备主要包括特大模数齿轮齿条驱动机构、螺杆螺母柱安全机构、同步机构及船厢等。升船机的可靠运行是三峡工程中确保客轮安全快速过坝的重要保证，对提高三峡工程通航过坝能力和通航质量具有重要意义。

2）特大模数齿条传动装置是三峡升船机的核心装置。三峡升船机最关键的驱动升降传动机构采用了齿轮齿条传动装置。齿轮齿条爬升平衡重式垂直升船机与钢丝绳卷扬提升式升船机相比，其工作机理、相互影响关系、关键设备设计和制造技术、事故发生形式与排除措施均有很大区别，国内没有同类升船机的设计、制造、安装和运行管理经验。虽然小型齿轮齿条爬升式升船机在国外已有成功经验，但国外的同类升船机都是建在通航水位变幅很小的人工运河上，提升高度在 50m 以下，承船厢总质量不超过 5 200t，与修建在通航河流上的三峡升船机相比，其规模和技术都有很大差异。

大模数齿轮齿条传动装置是升船机的核心装置，其安全、可靠地运行是提高三峡工程通航过坝能力和通航质量的基本保证，也是三峡大坝安全运行的基本要求。

三峡升船机是世界上独一无二的超大型升降装备，具有特殊性。虽然在德国有类似的升船机，但由于三峡工程的特点，而且目前国外的设计方案中有许多结构和功能是全新的，国内外可供参考的安全和可靠性方面的试验数据极少，相关的评价方法也缺乏系统性和针对性，因此，迫切需要对三峡升船机特大模数齿轮齿条传动装置进行试验验证。

3）本课题是保证升船机可靠运行的关键。齿条驱动系统安全可靠运行是保证升船机安全可靠运行的前提。三峡升船机的齿条模数高达 62.667mm，齿宽为 810mm，单节长为 4 705mm，单节质量在 10t 以上，所承受的切向载荷高达 10^6N 以上，均为世界最大。

在目前条件下，按照国外的设计方案，三峡升船机齿条采用感应淬火工艺热处理是比较可行的热处理工艺选择，但国内大模数齿轮齿条感应淬火工艺尚不成熟，单齿沿齿槽感应淬火仍存在几大技术问题：

①齿根淬火开裂倾向很大，生产废品率高。

②齿根感应淬火后往往形成不利的残余拉应力，影响弯曲疲劳强度。

③硬化层与心部交界处因硬度、组织及应力分布不良而成为薄弱区，易引起齿面剥落。

由于目前齿轮齿条感应淬火可能出现的齿根残余拉应力和裂纹问题尚未完全解决，致使感应淬火齿轮寿命较低、事故较多。例如：我国某风电齿轮增速箱的齿圈感应淬火后发生开裂断齿，损失达百万元；在 2009 年专家组对升船机齿条样件生产检查评审时，五家投标单位试制的齿条样品均存在不同程度的淬火开裂问题，这给齿条的批量生产带来很大的风险。更为严峻的是，即使感应淬火时未发现开裂，齿条齿根潜在的不利残余拉应力在今后的运输、存放或使用过程中也可能会引发开裂和断齿，其后果更难想象。因此，制造的齿条样件是否能满足强度和可靠性要求还难以确定，未经试验测试，齿条的性能难以评定，齿轮齿条也不敢投入使用。

另外，针对如此大模数、大尺寸的齿条传动装置，国内外目前尚无现成的试验验证装置及评价测试条件。通过课题试验装置的开发以及试验验证，可对目前的齿条感应淬火后的承载能力及可靠性进行评定，并根据评定结果改进国内目前尚未成熟的感应淬火工艺参数，解决齿根裂纹和残余拉应力太大的问题。

由于齿条埋进水泥立柱内，出现问题拆卸更换极其困难，且齿条设计寿命长达 35 年。因此，必须确保齿条在寿命期内安全可靠。要保证升船机在设计寿命内安全可靠运行，就必须进行与升船机齿条工况相一致的试验验证。通过试验装备开发、试验技术研究以及试验验证工作，形成系统的特大模数齿轮齿条的试验规范，为同类产品的设计、制造和试验提供依据。

针对三峡工程的实际条件和齿轮齿条爬升式升船机的技术特点，本课题进行提高齿条传动装置疲劳强度的一系列研究，开发测试验证装备并完成实际测试验证试验，评价齿条装置的可靠性，对确保齿条驱动系统安全进而保证升船机安全可靠运行是非常必要和迫切的。

当前国内高端大模数齿条制造技术尚不成熟，尤其是在机床、水电和石油钻井平台等行业所需要的关系国民经济发展和国防安全的大模数齿条上，国外更是

实行技术封锁。因此，研发具有我国自主知识产权的大模数齿条制造工艺及产业化技术，对于打破国外垄断、推动包括海洋平台提升装置在内的相关产品的设计、制造技术及试验技术水平的提高和行业技术进步，也有十分重要的意义。

（2）课题预期解决的重大问题

1）开发填补国内外空白的大模数、重载齿轮齿条试验测试装备，解决我国超大载荷齿轮齿条及其传动装置承载能力及工作可靠性等无法测试评价的问题。

2）产品性能和可靠性试验测试既可以为设计积累数据，又可以验证设计的合理性，进而改进设计。我国齿轮行业没有为全行业服务的齿轮传动装置试验台，使齿轮行业高参数齿轮产品设计因长期缺少性能和可靠性实验数据支撑，缺乏评价改进的环节，导致齿轮行业高参数齿轮产品的设计水平与国外先进国家相比差距很大。本课题开发的电封闭重载齿轮试验测试装备可以用于大多数重载齿轮产品的试验测试验证，为全行业服务，提高齿轮产品的设计水平。

3）通过研究大模数齿轮齿条感应淬火应力形成机制和淬火工艺技术，解决目前普遍存在的感应淬火齿根裂纹问题。

4）制定大模数齿轮齿条静强度、弯曲疲劳强度和接触疲劳强度等试验标准和规范，指导全行业大模数齿轮产品的试验测试；制定电渣熔铸、感应淬火工艺技术规范，指导行业生产。

（3）课题主要研究内容

1）大模数齿轮齿条试验装备研发。三峡升船机的齿条具有工程量大、规模大、加工精度要求高、更换困难等特点，是三峡升船机的关键构件之一。齿条设计寿命为35年，应力循环次数达4.22×10^5次。疲劳破坏是齿条的主要破坏形式之一，由于更换困难，对齿条进行寿命试验，积累数据，提前作出预测至关重要。大模数齿条测试验证与评价试验装备能够模拟三峡升船机齿轮齿条传动装置的基本工况，满足双向循环加载、快速换向等要求，能够进行负荷测试、循环次数统计、转速、温度、应力应变测试。

①试验装备方案及组成。根据三峡升船机的实际运行工况及齿轮齿条传动装置所承受的载荷，进行齿轮齿条试验装备的方案设计。开发出能满足三峡升船机大模数齿条测试验证与评价需求的试验装备，试验装备主要包括：驱动系统、负载系统、控制系统、测试系统及辅助系统五大模块，重点攻克超大载荷施加、大质量运动件频繁换向带来的冲击等难题。

②试验装备原理结构。试验装备的机械部分包括试验台底板及其上的电动机、

齿轮箱、联轴器和齿轮等装置组成的滑台机构，滑台下方的直线导轨和齿条固定在地基上，滑台水平放置在直线导轨上，由电动机通过齿轮箱对齿轮进行正反转驱动，使滑台相对于齿条产生往复运动。

③控制系统设计方案。

a. 能够完成试验任务规定的运动曲线。

b. 加速度时间小于 3s。

c. 试验过程中齿轮对齿条按照试验规范施加载荷。

d. 系统运行过程中处于电功率封闭模式，可大大节约电能。

e. 控制系统具有多种可靠性和安全防护措施，可保证长期连续运行的安全性和可靠性。

2）升船机齿轮齿条试验验证和评价。完成大模数齿条试验技术研究、试验规范制定和性能评价技术研究以及加速疲劳试验技术研究；对大尺寸、大模数齿条的强度、综合性能以及可靠性进行试验验证和评价，包括静强度测试、弯曲疲劳强度试验测试、接触疲劳强度试验测试、齿条寿命期内可靠性评价等。该研究内容包括：

①齿条静强度试验测试。首先对齿条的净强度进行测试，通过对齿面硬度和硬化层深度的应力分析，提出合理的设计技术指标；给出机械加工和热处理工艺对齿条强度的影响。

②齿条弯曲疲劳强度试验测试。参照 GB/T 14230-1993《齿轮弯曲疲劳强度试验方法》，考虑升船机实际运行情况，需按照“A”方法进行试验，即将试验齿轮副安装在齿轮试验机上进行负荷运转试验，直至轮齿出现弯曲疲劳失效或齿根应力循环次数达到规定的循环基数 N 而未失效时，试验终止并获得轮齿在试验应力下的一个寿命数据。进行该试验应使用功率流封闭式结构的试验机，试验需首先确定弯曲疲劳失效的判据，例如轮齿齿根出现可见疲劳裂纹、载荷或频率下降、沿齿根断齿等。

③齿条接触疲劳强度试验测试。试验齿轮安装后检查齿面接触情况，加载至试验载荷，齿面沿工作齿宽方向接触斑点不小于 90%，沿齿高方向接触斑点不小于 80%。以单齿点蚀面积 R_S=4% 作为接触疲劳失效的判据。根据工作载荷，制订合理的齿面检查时间间隔，以便准确记录达到点蚀损伤极限时的循环次数。仔细记录点蚀损伤形貌及在齿面上的位置，并仔细记录它们的变化情况。

④齿条齿面磨损评定。对齿面的磨损情况进行评定，并将中度以上齿面磨损

与疲劳点蚀区分开。

⑤齿条弯曲、接触疲劳寿命评价及寿命期内可靠性评价。针对齿条工作环境的复杂性、所受工况以及自身模数的特殊性，从理论推导出发，利用数值仿真和试验获得的数据，对齿条的弯曲寿命 P-S-N 曲线和接触疲劳寿命 P-S-N 曲线进行研究，从以下几方面实现升船机齿轮齿条的试验验证和评价：a. 在分析计算齿条寿命时，需要结合齿条的工作环境，确定齿条在复杂工况条件下的载荷谱，同时考虑材料缺陷对齿条寿命的影响，并根据国标对齿条的弯曲疲劳强度以及接触疲劳强度计算，得出齿条的理论疲劳寿命；b. 对齿轮齿条装配进行实体建模，并进行有限元分析，确定齿条危险点的最大应力值，采用专用的 Fatigue 疲劳分析软件对齿条的疲劳寿命进行分析；c. 对大模数齿条的弯曲疲劳寿命和接触疲劳寿命试验中得到的数据进行处理，获得大模数齿条材料的 S-N 样本；利用概率统计分析的方法，获得齿条的 P-S-N 曲线，确定齿条的使用寿命；d. 在试验和理论分析的基础上，对齿条材料缺陷与疲劳寿命的内在机理进行相关研究，以获得材料缺陷对齿条寿命的影响规律；e. 在理论分析、实验研究的基础上，综合考虑理论、仿真和试验结果，确定最终的大模数齿条 P-S-N 疲劳曲线。

3）大模数齿条试验方法与可靠性技术研究。完成三峡升船机齿条载荷应力分析，开展齿条试验技术研究、进行故障与失效模式分析，开展可靠性评定方法与寿命预测研究。

①三峡升船机齿条载荷应力分析。根据三峡升船机齿轮齿条设计要求，并结合三峡升船机的承载能力、运行条件，对齿轮齿条传动副进行载荷应力分析，重点对小齿轮和齿条轮齿接触疲劳强度及弯曲疲劳强度安全系数进行校核。

②大模数齿条试验技术研究。在静强度、弯曲疲劳强度、接触疲劳强度试验基础上，研究其加速疲劳试验方法，开展大模数齿条试验规范和性能评价技术研究。

③大模数齿条故障与失效模式分析。根据试验结果，采用疲劳样件分析、故障模式/影响和严重性分析(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis，FMECA)、失效树分析(Failure Tree Analysis，FTA)方法建立三峡升船机大模数齿条故障模式体系，给出升船机齿条故障模式的主要影响因素。分析各种故障因素对系统可靠性的影响，分析关键故障或失效模式对三峡升船机齿条可靠性的综合影响。进行升船机齿条的重大安全隐患分析，分析安全隐患的发生方式、事故机理和系统关联度。按照本质安全的原则，探讨相应的危害性及对

装备安全性水平的影响。

④可靠性评定方法与寿命预测研究：根据升船机齿轮齿条的时间历程载荷进行研究，提供一套复杂应力下齿条可靠性评价和寿命估算方法；拓展传统的“载荷－强度”干涉分析概念及其思维方法，提出随机疲劳可靠度的载荷统计加权平均算法，解决传统方法中干涉模型必须首先确定“给定寿命下的疲劳强度分布”这一难题，实现在已知随机载荷分布和恒幅载荷下的寿命分布的前提下疲劳可靠度的直接计算。

在齿条疲劳试验结果基础上，使用可靠性方法分析尺寸效应、表面效应、几何形状效应，提出三峡齿条 S-N 曲线。对齿条进行寿命预测及寿命期内可靠性评价。

4）感应淬火裂纹和残余应力控制技术研究。完成齿条感应淬火应力形成机制及防止齿根淬火裂纹的工艺研究，感应淬火齿条齿根残余应力分布特征及改善残余应力技术研究等。关键技术包括建立齿条感应淬火热源模型及揭示感应淬火过程温度分布规律；建立齿条感应淬火相变耦合残余应力计算模型，实现齿根残余应力调控；材料缺陷对齿条疲劳强度的影响；机械加工和热处理工艺对齿条疲劳强度的影响等。

其研究内容包括：

①齿条材料的强度和工艺特性测试及提高冶金质量的研究。影响齿条感应淬火的关键因素研究，包括对钢材冶炼、铸造、预备热处理的要求，以及材料性能、连续冷却转变图等的测定。

②感应淬火齿条齿面硬度和硬化层设计深度承载能力的校核评价及齿根硬化层深度的确定。通过对齿面硬度和硬化层深度的应力分析，校核并提出合理的设计技术指标。

③齿条感应淬火应力形成机制及齿条齿根残余应力分布特征的计算机模拟。对于感应淬火工艺中参数的影响及残余应力的性质和大小，按现有的测试手段很难得出答案。采用数值模拟与实验测试相结合的方法，分析工艺过程的物理冶金变化及应力的形成机理，探讨齿条感应淬火残余应力形成机制，从而优化工艺，降低不利的残余应力，减小淬裂倾向。

a. 采用热循环测试与淬硬层硬度比对相结合的方法，研究各工艺条件下齿面、齿根，以及齿根不同淬硬深度冷却速度的基本规律。

b. 采用相变耦合模型，分析淬火工艺参数与残余应力的关系，结合齿根残余应力的测试，揭示感应淬火工艺与齿根淬火组织转变的模式，完善齿条感应淬

火条件下相变理论和数值计算模型。

c. 在 G35CrNiMo 材料性能表征的基础上，实现 G35CrNiMo 齿条淬火开裂敏感性评定。

④齿面温度、加热淬火层温度及残余应力的测试和研究。感应淬火中的热应力和组织应力与加热温度及冷却速度密切相关，但目前感应淬火工艺中这些参数还多为经验性质，没有确切的数据，因此需要测试感应淬火中的温度和冷却速度。感应表面淬火与整体加热淬火的应力形成机制正好机反，而加热层的温度分布与冷却速度的大小对应力形成机制产生很大的影响，有时甚至从表面加热淬火转变为整体加热淬火的应力形成机制。

感应淬火工艺参数直接影响最后残余应力的性质和大小，而应力又是产生淬火开裂的力学条件，因此，残余应力是热处理工艺参数选择和优化的唯一判定依据。而齿根残余应力需要测沿硬化层深度的梯度分布。此外，开展硬齿面加工对开裂倾向及表面残余应力影响的研究，同时研究齿根强力喷丸对齿根残余应力作用机理的研究。

⑤防止齿根淬火裂纹的工艺试验及改善残余应力的研究。通过试验得到大模数齿条感应淬火的合理工艺参数，完成齿条感应淬火防变形控制技术研究。完成 5 件齿条成品整齿感应淬火试验，并进行感应淬火裂纹检测、变形检测、性能检测等，制订出齿条感应淬火工艺方案。

3. 百万千瓦级核电站循环泵齿轮箱研发㊀

（1）立项背景　核电作为一种安全、清洁、可靠的能源，得到越来越多的国家重视。2007 年 10 月，国务院正式批准了国家发展和改革委员会上报的《核电中长期发展规划（2005—2020 年）》。按照我国核电发展规划，到 2020 年，我国核电装机容量将达 7 000 万～ 8 000 万 kW，我国已进入核电快速发展时期。国家发展改革委员会对核电设备国产化非常重视，要求核电设备的国产化率达到 70% 以上；与此同时，对核电建设也提出了明确的经济指标要求。由于百万千瓦级核电机组齿轮传动装置设计制造是一项复杂的综合技术，国内尚未掌握全套技术，仍需依赖进口产品。

该项目提出的依据是国家能源发展规划和核电产业化政策及市场需求。本项目以红沿河核电站混凝土涡壳循环泵系统国产化项目为依托工程，由国内相关优势单位组成的联合团队共同完成循环泵系统的开发工作，由郑州机械研究所独立

㊀ 项目来源于科技部科研院所技术开发研究专项资金。

完成百万千瓦级核电站循环泵齿轮传动装置的研发，掌握大型核电站用齿轮箱的关键设计制造技术，以实现产品国产化，替代进口产品的目的。郑州机械研究所作为国内最大的齿轮传动研发机构，拥有低速重载减速器和行星齿轮减速器方面的人才、成果、产品开发经验和一定的用户市场，在高参数齿轮传动装置研究开发方面处于国内领先地位，并已有类似产品用于石化、煤炭、电力等行业。项目的立项，将更有助于充分发挥郑州机械研究所在齿轮传动、机械强度与振动、机电一体化等方面的专业优势，有助于进一步加快我国核电领域机械传动装置国产化的步伐，有助于我国装备制造业和能源工业的快速发展。

（2）立项意义　前 20 多年我国的核电发展比较缓慢，其原因在于装备、技术落后并受制于外国。近年，随着我国国民经济和科学技术的迅猛发展，我国的核电业也得到了快速发展，但装备国产化率较低，核电投资较大。例如 1994 年投入运行的大亚湾核电站的全部设备及配套、备用件均由法国的公司提供，大亚湾核电站最终的造价高达 40.7 亿美元，每千瓦达到 2 261 美元。而同样采用法国技术，2003 年投入运行的岭澳核电站，由于中方分包了核岛 11%、常规岛 23%、辅助设施 50% 的设备制造任务，使每千瓦造价降到 1 745 美元。因此，如何提高我国核电装备制造业及相关材料制造业的综合实力，加快核电装备国产化进程，形成我国在关键核电装备上的自主知识产权，已成为我国政府和社会的普遍共识。百万千瓦级核电机组是我国“十一五”期间装备制造业重点发展的重大装备之一。但由于其设计制造技术是一项复杂的综合技术，国内大型核电机组的成套技术还不成熟，特别是作为机组重要装备的齿轮传动装置还完全依赖进口。齿轮传动装置的研发是大型核电机组研发及立足国内制造的重要组成部分。本项目的完成将会改变我国大型核电装备传动装置完全依赖进口的现状，所形成的大型核电机组齿轮传动装置成套设计制造技术在行业的推广，将有利于推动我国齿轮行业的技术进步和加快我国核电装机量的快速发展。

（3）主要研究内容

1）高可靠性 / 高功率密度功率分流齿轮传动设计技术研究。

2）双斜齿行星齿轮传动设计技术研究。

3）太阳轮 - 内齿圈双浮动均载机构设计技术研究。

4）低速状态下滑动轴承设计、分析及润滑控制技术研究。

5）立式行星齿轮箱高可靠性密封技术研究。

6）大螺旋角内齿圈、大型鼓型齿联轴器制造技术研究。

7）大型薄壁内齿圈热处理工艺及热处理变形控制技术研究。

8）传动装置压力润滑、监测及控制系统设计技术研究。

9）典型样机设计、制造及性能试验研究。

10）中试试验研究等。

（4）项目研制的样机参数　百万千瓦级核电站循环泵齿轮箱的设计额定功率为 6 100kW，输入转速为 740r/min，输出转速为 190r/min。所采用的大螺旋角双斜齿行星齿轮传动、太阳轮 - 内齿圈双浮动均载、立式高可靠性组合式非接触密封、大型薄壁齿型联轴器、滑动轴承支承等结构和技术在国内齿轮产品中很少采用，属世界先进水平、国内领先水平。表 G-8 为辽宁红沿河样机、福清产品、方家山产品与大亚湾核电站 CRF4500 齿轮箱主要技术参数的对比。通过比较可以看出，不论是项目研制的样机，还是开发的福清、方家山产品的功率、输出转矩、齿圈大小及齿轮精度等指标，均高于大亚湾核电站进口产品。

表 G-8　项目产品与国外同类产品主要技术指标对比

项目产品	功率 /kW	低速轴转速 /r·min^{-1}	低速轴转矩 /kN·m	速比	齿轮精度（外齿 / 内齿）	齿圈分度圆直径 /mm
大亚湾 CRF4500	4 500	161.2	266	4.61	6/7	920
红沿河项目样机	6 100	190	307	3.89	5/6	1 200
福清项目产品	6 500	176	353	4.23	5/6	1 249
方家山项目产品	5 600	169	316	4.40	5/6	1 226

表 G-9 为样机运转试验主要测试结果，电动机转速为 990r/min，为额定转速的 1.34 倍。在超速情况下，齿轮箱的振动位移小于等于 5.5μm，远远低于产品规范书中规定的工作转速下振动位移小于等于 60μm 的要求，所有指标均满足产品规范书的要求。

表 G-9　样机运转试验主要测试结果

序号	测试项目及结果		测试工况
1	技术规范书要求箱体振动（轴承位）/μm	技术规范书要求的噪声（1m 处）/dB	正常工况：输入转速为 750r/min
	≤ 60	≤ 80	
2	实测箱体振动（轴承位）/μm	实测噪声（1m 处）/dB	超速工况：输入转速为 990r/min（正反转）
	≤ 5.5	79	
3	结论：样机振动、噪声等指标满足规范书要求		

（5）成果技术水平　该项目研制的百万千瓦级核电站循环泵齿轮箱产品采用大螺旋角双斜齿行星齿轮传动、太阳轮 - 内齿圈双浮动均载、立式高可靠性组合式高位非接触密封、大型薄壁齿型联轴器、滑动轴承支承、起动时高压顶起的结构和技术在国内齿轮产品中没有先列。与大亚湾核电站 CRF4500 齿轮箱主要技术参数对比，本样机产品的功率、输出转矩、齿圈大小及齿轮精度等指标均高于大亚湾核电站进口产品，属世界先进水平、国内领先水平。

（6）知识产权状况　本项目研制的百万千瓦级核电站循环泵齿轮箱采用目前世界上先进的立式、双斜齿、双浮动、滑动轴承支承等结构形式，经过优化设计，完善加工工艺，拥有独立的知识产权，已获授权实用新型专利 3 项：“变动中心距齿轮传动的随动座装置”“可调相位齿轮箱”“单臂行星架组件”；发表论文 5 篇：《大型能源装置行星齿轮传动模糊可靠性研究》《我国核电循环泵齿轮箱的发展概况》《压水堆核电站循环水泵齿轮箱传动设计研究》《滚动轴承扩展寿命计算方法及影响研究》《高可靠性行星齿轮传动设计技术及均载研究》。

（7）突破的关键技术

1）对内齿圈、行星架、输出轴等关键结构件进行优化，解决了百万千瓦级核电齿轮箱的轻量化难题。

2）对 1m 以上薄壁内齿圈渗碳淬火畸变影响因素进行系统研究，解决了大直径薄壁内齿圈渗碳淬火热处理变形问题。

3）采用齿轮齿廓精密修形、单圆弧齿根喷丸强化等工艺措施，进一步提高

了产品的可靠性。

4）研究了高可靠性 / 高功率密度功率分流齿轮传动设计技术、双斜齿行星齿轮传动设计技术、太阳轮 - 内齿圈双浮动均载机构设计技术。

5）研究了低速状态下滑动轴承设计、分析及润滑控制技术。采用径向滑动轴承和推力滑动轴承减小了装置的尺寸，提高了功率密度和可靠性。采用组合式、非接触密封等形式解决了立式行星齿轮箱的密封可靠性、难维护等问题。

6）研究了立式行星齿轮箱高可靠性密封技术、大型鼓型齿联轴器制造技术。

（8）对行业的推动作用　本项目的完成使郑州机械研究所成为国内首家掌握百万千瓦级核电循环泵用双斜齿、双浮动、立式行星齿轮箱的设计制造技术的企业。本项目的完成改变了我国大型核电传动装置完全依赖进口的现状，打破了国外的技术封锁和价格垄断，迫使国外设备价格降低，从而使得我国的核电投资成本得以降低，所形成的大型核电机组齿轮传动装置成套设计制造技术在行业的推广，将有利于推动我国齿轮行业的技术进步和加快我国核电装机量的快速发展。本项目高可靠性 / 高参数设计制造关键技术的研究成功，对我国建材、石化、大型水利工程等重大工程装备的发展、应用具有极大的推动作用。

（9）推广应用及经济社会效益　目前我国在大型核电站装备方面与国外先进水平相比差距很大，本项目的研究成功，大大提高了我国百万千瓦级核电循环泵齿轮箱的设计制造水平，替代并逐步取代同类进口产品，减少我国核电行业大型设备的投资，具有显著的社会效益。项目开发的百万千瓦级核电站海水循环泵大型立式行星齿轮箱，2009 年中标福建福清和浙江方家山核电站项目，获得了各 4 台海水循环泵行星齿轮传动装置的生产任务，合同值 2 350 万元，在百万千瓦级核电循环泵齿轮传动装置国产化方面实现了突破。项目产品每台进口价约 500 万元，国产价约 200 万元，按每年进口 15 台计算，国产化后每年可节约资金 4 500 多万元。同时，该技术还可推广应用于建材、石化、煤炭等领域。项目成果在行业推广 3 ～ 5 年后，估计每年可产生数十亿元的直接经济效益。

根据《核电中长期发展规划》，到 2020 年，我国核电占全部电力装机容量的比例将从现在的 1.3%提高到 5% ～ 7%，这就意味着我国的核电设备制造业迎来了大发展的契机。截至 2009 年底，我国先后核准了 10 个核电项目，共 28 台机组，总装机容量为 3 140 万 kW，已开工建设核电机组 20 台，总装机容量 2 182 万 kW。另外，目前还有 21 台机组已明确开展前期工作，目前我国已经成为世界

在建核电规模最大的国家。每台机组最少需要 4 台行星齿轮传动装置，共约需 120 台行星齿轮传动装置。此外，据测算，我国石化、煤炭、建材等行业每年需要此类大型行星齿轮传动装置将超过 100 台。

通过对核电用大型行星齿轮传动装置的关键设计制造技术的系统深入研究，以及 6 100kW 百万千瓦级核电站水泥涡壳泵行星齿轮箱样机的研制，我国基本掌握了高功率密度、立式、双浮动、双斜齿行星齿轮装置的关键设计制造技术，并完成了产业化的中试试验工作，全套设计制造技术达到了产业化的基本要求，目前已实现小批量生产，达到了项目预定的我国大型核电机组行星齿轮传动装置立足国内制造、不再完全依赖进口的目的。同时，该技术还可应用于石化、煤炭、建材等领域同类大型齿轮箱制造，还可用于核电其他齿轮传动装置的制造。项目成果在行业推广 3 ～ 5 年后，估计每年可产生数亿元的直接经济效益。同时，项目技术还可推广到一般工业齿轮产品领域，将会产生更大的经济效益。

4. 超临界 / 超超临界火电机组齿轮传动装置研发㊀

（1）立项的意义　目前国内燃煤电厂的热效率在 33% 左右，而超超临界火电机组的能源转化效率能够达到 49% 左右，节煤是超超临界技术的最大优势。以热效率提高 1% 计算，对一台 30 万 kW 的火电机组来说，一年就可以节约 6 000t 优质煤。根据我国在相当长时期内仍需以煤电为主来满足国民经济发展对日益增长的电力需求的国情，在大规模建设燃煤火力发电站的同时，积极推广使用超临界和超超临界的火电设备，推广应用高效、经济、清洁、可靠并具有较好调节性能的齿轮调速传动装置具有显著的节能减排意义，符合国家“十二五”结构调整、节能低碳行动实施方案。然而，目前我国在燃煤发电站中超临界特别是超超临界火电机组的技术水平，与国外先进水平相比差距很大，特别是用于锅炉给水泵调速的大型机电液齿轮调速传动装置完全依靠进口，国产化方面尚属空白。

机电液复合传动是现代机械传动发展的方向之一。机械传动中的齿轮传动装置与液体传动中的液力传动装置相结合以及控制系统，就形成了本项目要研究的齿轮调速装置。该装置的调速范围一般可达 20% ～ 97%，主要适用于工作转速有变化的场合。本项目研发的齿轮调速装置主要由齿轮副、液力偶合器、液压泵、冷却系统、调速控制系统等组成，可根据需要由一对齿轮副或多对齿轮副组成。

㊀ 项目来源于科技部科研院所技术开发研究专项资金项目。

齿轮调速装置可在电动机转速不变的情况下实现输出转速和输出功率的无级调节，具有降低功耗、延长机械设备寿命、控制精度高、可靠性高、减少冲击振动、运转及维护成本低等特点。主要用于电厂给水泵、风机、磨煤机，用于石化工业的泵和压缩机以及化学工业的压缩机、离心泵等设备。对于大型机械设备而言，调速装置可以使设备运行在良好的工作状态下，不仅能够大幅度减轻传动系统本身所受到的起动冲击，延长关键零部件的使用寿命，同时还能大大缩短电动机起动电流的冲击时间，减小对电动机的热冲击负荷及对电网的影响，从而节约电能并延长电动机的工作寿命。此外，通过使用调速装置，在电动机的选型上将有可能选用功率较小的电动机，因而既能够节电也能够减少不必要的设备投资。

调速传动装置正在向大功率、高速、高可靠性方向发展。我国在高参数、大功率、高可靠性调速装置方面与国外先进水平相比差距很大。例如，我国目前液力偶合器的最高转速为6 500r/min，最大功率为6 300kW，而德国福伊特公司生产的调速装置最高转速达到20 000r/min，最大功率达到60 000kW，而且国内掌握设计生产技术的企业太少，影响了行业技术水平的提高和生产成本的降低。

目前，我国的超临界和超超临界机组所采用的齿轮调速传动装置几乎全部依赖进口，设备进口成本高，采购周期长，维修服务和零部件更换困难。

本项目的完成可以改变大型调速传动装置依赖进口的被动局面，提高我国电力、煤炭及其他行业装备的制造能力和技术水平，促进我国齿轮行业产品结构调整，推动行业技术进步及科技产业的发展。

（2）研究目标　本任务的主要目标是通过对超临界、超超临界机组用齿轮调速装置的设计制造技术进行系统深入的研究，掌握大功率、高速度齿轮传动+液力传动组成的大型齿轮调速装置的关键设计制造技术，开发出超临界、超超临界燃煤发电机组中高速重载大型机电液调速传动装置，试制出典型样机，填补国内空白，完成产业化前的中试试验和产业基地建设，改变产品依赖进口的局面。

（3）主要研究内容

1）传动装置总体方案及结构设计。

2）主传动齿轮副的布置及结构优化。

3）转子部件强度计算及转子动特性计算。

4）径向及推力滑动轴承的设计技术研究。

5）液力偶合器型腔设计及分析。

6）大型液力偶合器型腔数控加工方法研究。

7）液力传动系统主、从动件（偶合器）优化设计。

8）传动装置工作油路系统及润滑油路系统设计。

9）液力传动调速控制系统（勺管调速机构）设计技术研究。

10）传动装置温度、转速、压力控制及监测系统设计。

11）典型样机设计、制造及性能试验研究。

12）中试试验研究等。

该项目研制样机的主要参数为：传递功率为 7 000 ～ 12 000kW，调速范围为 20% ～ 97%，属世界先进水平、国内领先水平（图 G-4）。

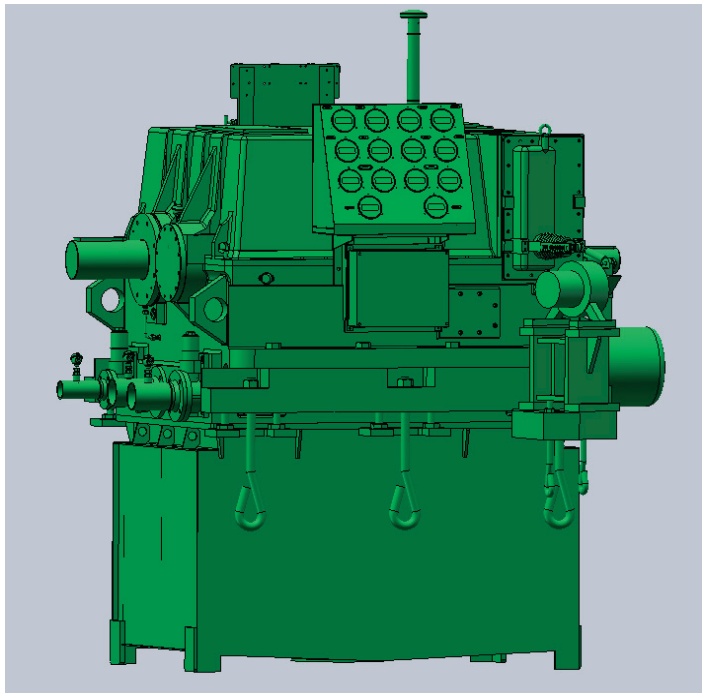


图 G-4　项目开发的 7 300kW 齿轮调速传动装置

（4）技术问题及主要创新点

1）调速装置总体设计技术。齿轮调速装置不是齿轮与液力偶合器的简单组合，将根据使用场合和用户的不同要求，综合考虑齿轮的级数及布置方式，对总体结构进行研究，建立调速装置的综合优化模型并进行优化。

2）液体传动调速控制系统研究。齿轮调速装置采用勺管调速机构及其控制系统实现输出转速的控制，建立勺管位置—油量—输出转速—输出功率的数学模型，实现输出转速的精确控制。

3）高参数齿轮传动设计技术。装置的速度高、功率大、可靠性要求高，需要掌握高可靠度 / 高功率密度齿轮传动设计制造技术，如热平衡计算、轮齿修形技术、润滑冷却系统设计、噪声振动检测控制技术等。

4）高精度、复杂零部件制造技术。高参数齿轮副精密加工技术、大型液力偶合器泵轮及涡轮制造技术、特殊径向及推力滑动轴承设计制造技术、调速控制系统设计制造技术等。

（5）国内外现状　目前我国燃煤发电站中超临界和超超临界机组的技术水平，与国外先进水平相比差距很大，尤其是用于锅炉给水泵调速的大型机电液调速传动装置在国内尚属空白，全部依赖进口。进口数量最多的是德国福伊特公司生产的 R17K550M、R17K450M。其次是日本荏原公司的产品，用于超临界最大传动功率达 7 000 ～ 8 000kW，输出转速高达 5 600 ～ 6 100r/min，泵轮、涡轮及涡轮套的最高线速度已超过 210m/s。用于超超临界机组大型机电液调速传动装置最大传动功率达 9 000 ～ 11 000kW，输出转速高达 5 600 ～ 6 100r/min，泵轮、涡轮及涡轮套的最高线速度已超过 275m/s，其高速重载齿轮和液力传动系统主、从动件（泵轮、涡轮及涡轮套）等零部件的设计制造成为核心技术。由于大型机电液调速传动装置是集机械传动、液体传动及电气自动化控制的综合性产品，其系统及结构复杂，无论对机械传动中的高速重载齿轮，液体传动中的液力元件（泵轮、涡轮及涡轮套、离合器等），还是机构复杂的箱体，在设计和制造上都提出了非常高的要求，如液力元件中泵轮、涡轮的腔型加工必须采用 NC 加工或电火花加工，齿轮副必须采用精密修形等。

目前生产 5 000kW 以下中小型号齿轮调速传动装置的厂家主要有沈阳水泵股份有限公司、广东中兴液力传动有限公司、大连液力偶合器有限公司等。而大型调速装置的研究开发尚为空白，特别是用于超临界 / 超超临界火电机组锅炉给水泵的机电液调速传动装置现仍全部依赖进口。自 1983 年我国进口齿轮调速传动装置以来，国内进口量已超过 2 000 多台，其中福伊特公司一家就有 1 500 多台，其次是日本荏原公司的产品。

附录 H　齿轮行业部分行业组织及创新平台简介

1. 国家齿轮产品质量监督检验中心

国家齿轮产品质量监督检验中心（机械工业齿轮产品质量监督检测中心、河南省齿轮及焊条产品质量监督检验中心），位于郑州市嵩山南路 81 号，于 1988 年经国家质量技术监督局审查认可通过，1999 年通过实验室认可，是国家第一批授权的国家级质检机构。该中心现有职工 18 人，其中本科及以上学历 13 人、中级及以上职称 13 人；实验室建筑面积 1 404m^2，其中有 250m^2 的恒温测量室，主要仪器设备有 123 台（套）。国家齿轮产品质量监督检验中心［实验室认可证书：CNAS L1838，资质认定授权证书：（2010）国认监认字（67）号，资质认定计量认证证书：2010000390Z］授权检验产品包括：圆柱齿轮、锥齿轮、蜗杆蜗轮、齿轮材料、圆柱齿轮减速器、蜗杆减速器、摆线针轮减速器、行星齿轮减速器。齿轮产品质量监督检验中心拥有检测齿轮及各种减变速器的仪器设备，多次承担国家质检总局下达的齿轮产品质量监督任务，受制造厂委托进行了多种型号的汽车变速器台架试验、高速、重载齿轮装置性能试验，为产品的定型提供产品完整试验数据，验证设计，加速产品更新，不断提高我国高档齿轮传动装置的自主创新能力和质量水平，促进全行业技术水平上新台阶。该中心还是国家科技部授权的科技成果检测鉴定单位，拥有先进的设备和优秀的技术人员，可对各类齿轮产品进行全面的检测（包括齿轮精度、内在质量、减变速器负荷试验、效率、噪声及温升等），多年来与企业建立了密切的联系，深得用户的信赖，在制造方与用户之间起到了第三方质量保证的重要作用。

理化检验测试是中心的重要工作之一。其主要从事各种金属材料的化学分析、力学性能测试、金相检验、无损检测及失效分析等试验研究，冶金标样的研究与开发，实验人员技术培训及实验室建设。多年来其进行了大量疑难检测分析、重大失效分析、产品质量鉴定及产品质量纠纷的仲裁，探索出许多新的检测方法，目前是国内金属材料研究和试验水平较高、颇具影响的实验室之一。该中心是全国机械系统标准物质技术归口单位，并从事标准物质（标准样品）的研究、开发、销售，是国家发展和改革委员会授权的冶金标样定点研制、定点销售单位。到目

前为止，其已研制标准样品达 100 余种，很多品种填补了国内空白，畅销全国，在国内分析行业产生了较大的影响，具有较高的知名度。该中心下设标样服务部，代销全国各标样定点研制单位的标样约 3 000 种，经销各类化玻试剂和实验仪器等。该中心作为河南省齿轮及焊条产品质量监督中心，1997 年 5 月通过省技术监督局的计量和质量认证，现已成为省焊条焊丝产品检测的权威机构。

作为河南省机械工程学会理化检验专业委员会的挂靠单位，秘书处就设在该中心，该中心还承担着机械工业理化检验人员技术培训与资格鉴定委员会河南分委员会的工作，多年来为省理化检验行业的发展做了大量有益的工作。2005 年 3 月，经河南省劳动与社会保障厅批准，设立郑州机械研究所职业技能鉴定站，专门从事理化检验行业的国家职业技能鉴定工作。

2. 全国齿轮标准化技术委员会

全国齿轮标准化技术委员会（CSBTS/TC52）于 1985 年成立，是由国家标准化管理委员会直接领导的全国性专业标准化技术工作组织，负责齿轮及其装置专业技术领域的标准化归口工作。秘书处挂靠在郑州机械研究所。

全国齿轮标准化技术委员会根据国家有关标准化工作的方针、政策，组织提出齿轮专业标准化工作方针、政策和技术措施的建议。组织制订、修订齿轮专业基础性、通用性国家标准和行业标准的规划和年度计划。负责审查、复核、上报以及复审、修订齿轮专业基础性、通用性国家标准和行业标准；负责组织齿轮专业有关标准的宣传、解释、培训，推进标准实施。

全国齿轮标准化技术委员会的工作领域包括：

1）齿轮专业名词术语。

2）齿轮精度。

3）承载能力计算。

4）齿轮验收规范。

5）齿轮传动装置。

6）齿轮产品的制造。

全国齿轮标准化技术委员会承担着与国际标准化组织第 60 技术委员会（ISO/TC60）的对口技术业务工作，与 ISO/TC60 保持着良好的工作关系，是该组织的 P 成员国（即积极参加国）；积极参加了 ISO/TC60 组织对标准提案的投票活动，负责组织审查我国提案和国际标准的中文译稿以及相应的技术组织工作。

全国齿轮标准化技术委员会由来自全国有关大专院校、研究院所、工厂企业的长期从事齿轮专业技术工作，具有较高理论水平和较丰富实践经验，熟悉和热心标准化工作的科技人员组成。该技术委员会委员由国务院有关行政主管部门推荐，报请国家标准化管理委员会核准并聘任，任期五年，现为第六届委员会。

3. 中国机械工程学会机械传动分会

中国机械工程学会机械传动与设计分会成立于 1960 年，首任主任委员是著名科技专家、中国科学院资深院士陶亨咸。1986 年，机械传动分会与机械设计分会各自独立，分别成立了机械传动分会和机械设计分会。机械传动分会的依托单位为郑州机械研究所。

中国机械工程学会是由机械科技工作者组成的全国性学术团体。其办会宗旨是：解放思想，实事求是，科教兴国，繁荣科技。

机械传动分会是中国机械工程学会下属的 31 个专业分会之一，负责在机械传动专业范围内广泛开展各种形式的学会活动。其具体任务是：组织学术交流，推动学科发展，开展培训教育，传播科技信息，提供中介服务。

机械传动分会成员由全国各地从事机械传动专业领域的专家、学者、企业管理人员组成，委员由行业推荐，中国机械工程学会聘任，任期四年，目前是第五届委员会。

4. 齿轮行业生产力促进中心

齿轮行业生产力促进中心成立于 1998 年，是国家科技部高新技术发展及产业化司领导下的不以盈利为目的的社会化技术创新与服务机构。其依托单位为郑州机械研究所。

该中心的服务宗旨为：背靠政府，依托科技，面向企业，双向服务；组织科技力量，推动齿轮企业（特别是齿轮行业中的中小企业、乡镇企业和个体企业）的技术进步，促进齿轮企业技术创新能力和市场竞争能力的不断提高，从而提高全行业的生产力水平。

该中心的服务方法为：为政府有关部门提供关于齿轮行业科技发展规划，齿轮企业的生产状况统计，市场预测，重大科技项目的可行性论证服务；为企业提供信息、技术交流、咨询、培训、技术开发、技术改造、技术转移、质量管理、市场拓展及国外合作等服务。

该中心的服务领域为：

1）标准化管理。齿轮行业基础标准、产品标准的制订及修订，指导企业建立标准体系及标准的制订及修订，标准的宣贯、咨询，全面质量管理。

2)质量检测。齿轮装置的试验检测服务，齿轮几何精度、内在质量的检测服务，质量体系认证咨询，质量认证。

3）先进制造技术与开发。齿轮传动装置 CAD/CAM/CAE 技术开发与推广，先进制造技术的推广，科研成果推广，先进检测技术推广，新产品开发，国外先进技术引进、转化与推广。

4）信息、培训与技术交流。齿轮标准信息与培训，齿轮标准文献服务，齿轮技术文献服务，齿轮传动 CAD/CAM/CAE 培训，齿轮先进制造技术信息与培训，齿轮加工检测、试验人员培训，齿轮技术文献的出版发行，齿轮传动技术交流。

5. 全国齿轮行业技术情报总网

全国齿轮行业技术情报总网成立于 1984 年，由原机械部机械科技情报所批准筹建，是以发展我国齿轮传动技术为目的的组织。全国齿轮行业技术情报总网以迅速传递国内外有关齿轮行业信息、技术资料并为广大会员单位提供技术信息服务为宗旨。

信息内容涉及国内外齿轮的新技术、新工艺、新成果、标准、产品、学会动态及学术活动等。齿轮情报总网拥有超过 500 家的会员单位，遍及全国各地，为我国齿轮有关企业、科研部门、大专院校等单位相互了解、相互沟通起到了桥梁作用。

6. 机械传动国家重点实验室

机械传动国家重点实验室主要从事机械传动及其相关领域的基础研究和应用基础研究，同时开展相关的应用技术研究并提供技术咨询服务。机械传动国家重点实验室依托于重庆大学。该实验室在机械传动及其相关领域建立起了具有国内领先水平的实验条件及研究环境，可完成相关的应用基础研究工作，已经成为国内外知名，国际上有一定影响的高层次学术研究机构和高层次人才培养基地。机械传动国家重点实验室现有固定人员 50 人（其中教授 37 人，副教授 9 人），国家“千人计划”学者 2 人，教育部长江学者特聘和讲座教授 4 人，国家杰出青年科学基金获得者 1 人，人事部“百千万人才工程”第一、二层次培养计划 / “新

世纪百千万人才工程”国家级人选 2 人，“教育部跨世纪 / 新世纪优秀人才培养计划”10 人。目前，该实验室已形成了学历、年龄、职称、专业结构合理、积极进取，并以中青年为主的研究、技术和管理队伍。该实验室依托机械工程一级国家重点学科，设有机械设计及理论、机械制造及其自动化、机械电子工程、车辆工程四个博士点和机械工程博士后流动站。

机械传动国家重点实验室先后承担了国家攻关项目 13 项，国家“863”项目 16 项，国家自然科学基金重点项目 4 项及面上项目 49 项，Ford—NSFC 中国发展基金项目、欧盟国际合作项目、国家军工项目以及企业委托项目 300 余项。该实验室在机械传动及其相关领域已取得了一系列国内领先并达到国际先进水平的成果。获国家发明二等、三等奖各 1 项，国家科技进步二等、三等奖共 7 项，部省级科技成果一等奖 23 项，二等、三等奖 70 余项；获准发明专利 130 项；出版专著 20 余部，发表科学论文 3 000 余篇，其中被 SCI、EI 收录论文 1 000 余篇；已培养出博士 150 余人、硕士 300 余人，已出站的博士后研究人员 23 人。

机械传动国家重点实验室的重点研究方向为：机械传动设计理论与方法、高性能机电传动系统、车辆动力传动与控制、传动系统制造与测控、传动系统与装备集成技术。

（1）机械传动设计理论与方法　开展机械传动关键基础件设计理论与方法研究，着重研究动力与运动变换新理论、新方法、新结构、精密传动设计理论与方法、传动件可靠性设计理论与方法、传动系统动力学和振动噪声的控制、机械摩擦学与表面工程技术、机械传动及系统多学科优化设计、微纳传动理论与技术等。

（2）高性能机电传动系统　开展机器人、航空、航天、船舶、新能源及国防等工程领域重要装备机电传动系统的关键科技问题研究，着重研究特殊与极端环境下的高精度、高可靠性、长寿命、大转矩、低能耗、小尺寸、轻量化的高性能机电传动与智能化控制系统，基于资源节约与环境友好的新型工程复合材料传动系统，高性能传动与驱动系统产业化工程技术。

（3）车辆动力传动与控制　主要开展汽车、新能源汽车、工程机械、农业机械等工程领域动力传动系统的关键科技问题研究，以高效、节能、环保、自动化和智能化为主题，着重开展车辆动力传动系统、混合动力传动系统、电动传动系统、机电液复合传动系统及其关键部件的设计理论、匹配控制方法、系统效率优化等研究，以及动力传动系统试验方法研究、试验系统的研发等，同时，以车辆系统动力学为基础，运用现代控制理论与方法，重点对汽车主动 / 半主动悬架

控制、动力总成悬置系统的隔振理论与控制、汽车稳定性控制、底盘一体化控制等先进底盘控制系统理论与关键技术开展研究。

（4）传动系统制造与测控　主要开展数控机床、舰船、装甲车辆、风力发电、城市轨道交通、通用机械、大型飞机压机装备等传动系统及装备的制造、测控、损伤动态监测及故障辨识方面的相关基础理论与共性关键技术研究。着重研究基于电传动（或零传动）原理的高速、高精度齿轮加工机床及功能部件、高精度数控多股螺旋弹簧加工机床创新设计制造理论与应用、零编程数控滚齿加工方法及应用、重大复杂构（零）件高效精密砂带磨削加工理论及应用、数控高效制齿机床的优化设计、制造与维护的成套技术，基于新型嵌入式传感器的智能轴承设计、加工理论及测控技术、面向机械测试的虚拟仪器理论与应用、传动系统机械量的计测与振动噪声控制、基于机器视觉的精密测量技术、现代测试技术与仪器开发及应用、强噪声环境下信号分析与故障特征提取方法、传动系统损伤动态监测与故障辨识的理论及系统集成技术等。

（5）传动系统与装备集成技术　开展传动系统与装备集成优化设计技术和集成优化运行技术的研究。着重研究机电装备复杂工况运行中传动系统的能耗特性、信息特性等运行特性，机电装备传动系统、控制系统和工作系统的集成优化设计技术和优化运行技术，由多种机电装备所构成的多机制造系统的网络化、信息化、绿色化和集成化等优化运行技术。

表 H-1 和表 H-2 分别为重点实验室近年来的部分科研成果和开放课题。

表 H-1　2005—2010 年重点实验室部分科研成果

序号	名称	获奖等级	授奖单位	时间
1	基于新型工程复合材料的高效传动系统关键技术及产业化	国家科学技术进步奖二等奖	中华人民共和国国务院	2005 年
2	国产虚拟仪器的研发与面向机械测试的系列仪器	国家科学技术进步奖二等奖	中华人民共和国国务院	2005 年
3	基于逆滚动螺旋副的高效精密传动机构	教育部科技发明一等奖	中华人民共和国教育部	2006 年
4	网络化制造系统模式库及网络化制造平台的研究开发及应用	教育部科技进步一等奖	中华人民共和国教育部	2006 年
5	时空坐标转换方法与时栅位移传感器研究	重庆市技术发明一等奖	重庆市人民政府	2006 年

（续）

序号	名称	获奖等级	授奖单位	时间
6	支持生产设备集成运行的网络化制造系统及支撑技术	国家科学技术进步奖二等奖	中华人民共和国国务院	2007 年
7	数控高效制齿机床成套技术研发及产业化应用	国家科学技术进步奖二等奖	中华人民共和国国务院	2007 年
8	旋转机械智能化在线诊断方法研究及应用	重庆市科技进步一等奖	重庆市人民政府	2007 年
9	振动利用与控制工程的若干关键理论、技术及应用	国家科学技术进步奖二等奖	中华人民共和国国务院	2008 年
10	工程复合材料精密成形数字制造装备	教育部技术发明一等奖	中华人民共和国教育部	2008 年
11	ISG 混合动力轿车产业化试验研究平台开发与应用	重庆市科技进步一等奖	重庆市人民政府	2008 年
12	摩托车开发关键技术的研究	重庆市科技进步一等奖	重庆市人民政府	2008 年
13	高速高性能主轴系统关键技术及典型应用	重庆市科技进步二等奖	重庆市人民政府	2008 年
14	基于异常特征智能辨识的复杂机电产品动态服役支撑技术及应用	重庆市科技进步二等奖	重庆市人民政府	2008 年
15	节能环保型摩托车研发及产业化	重庆市科技进步二等奖	重庆市人民政府	2008 年
16	165MN 自由锻造油压机研制	中国机械工业科学技术进步特等奖	中国机械工业联合会	2009 年
17	ISG 型长安混合动力轿车整车匹配	中国兵装集团科学技术进步特等奖	中国兵器装备集团公司	2009 年
18	165MN 自由锻造油压机研制	上海市科技进步一等奖	上海市人民政府	2009 年
19	高性能机电传动与装备集成技术	重庆市技术发明一等奖	重庆市人民政府	2009 年

（续）

序号	名称	获奖等级	授奖单位	时间
20	机床绿色再制造成套技术研究与应用工程	重庆市科技进步一等奖	重庆市人民政府	2009 年
21	风力发电专用齿轮箱成套技术及产业化	重庆市科技进步一等奖	重庆市人民政府	2009 年
22	车辆底盘系统动力学与控制关键理论及技术	重庆市自然科学二等奖	重庆市人民政府	2009 年
23	基于测量基准时空转换技术的时栅位移传感器	国家科学技术发明奖二等奖	中华人民共和国国务院	2010 年

表 H-2　近年来重点实验室部分开放课题

序号	项目名称	起止时间
1	高速电主轴轴承负荷分析与动态、热态性能仿真	2008.11—2011.11
2	双离合器自动变速系统建模与仿真	2008.11—2011.11
3	齿轮传动基于表面镀膜的裂纹测试技术	2008.11—2011.11
4	正交轴齿轮副轮齿动态啮合力分析	2008.11—2011.11
5	基于偏微分方程的传动零件体积模拟和设计分析	2008.11—2011.11
6	微制造装备与复杂微小零件的加工技术	2008.11—2011.11
7	高功率密度行星减速器的热平衡与温度控制的研究	2008.11—2010.11
8	汽车传动部件的再制造性能分析与实验研究	2008.11—2011.11
9	小样本条件下复杂机械传动系统可靠性分析和多学科设计优化理论与方法	2008.11—2011.11
10	基于超声 C 扫描的齿轮缺陷数字化检测研究	2008.11—2011.11
11	面向动态过程的混合动力电动汽车动力传动及其控制方法研究	2008.11—2011.11
12	高硬涂层回转球面精密磨削装备关键制造技术的研究	2008.11—2011.11
13	新型动力传动面齿轮啮合性能分析与实验研究	2008.11—2011.11
14	基于四轴数控铣齿机变性法加工准双曲面齿轮的研究	2008.11—2011.11

7. 机械工业齿轮传动工程实验室、机械工业齿轮传动工程研究中心

机械工业齿轮传动工程实验室和机械工业齿轮传动工程研究中心由中国机械工程联合会 2007 年底批准筹建，2010 年 10 月通过了中国机械工程联合会组织的专家验收并正式运行（中机联科【2010】372、373 号文件）。机械工业齿轮传动工程实验室和机械工业齿轮传动工程研究中心的依托单位均是郑州机械研究所。

“六五”规划以来，我国在以齿轮技术为主的机械传动研究方面投入了大量的人力财力，在齿轮材料、热处理、强度、CAD 优化设计、加工工艺、润滑、标准制定等方面取得了一大批研究成果。但受我国国情所限，2007 年前我国尚缺乏对齿轮行业共性关键技术研究经费的投入及相关机制，缺乏资源和信息共享平台，整个行业因缺乏基础技术研究而创新能力不强。加之科研机构转制为企业，研究院所都把精力放在本单位的经济收益上而疲于应付日常的生产任务，无暇顾及行业上的前瞻性、开拓性、公共性的项目研究，科研成果数量逐年下降。高校的研究又往往偏于理论，研究成果与产业化生产还有相当的距离。生产企业新产品及高新技术产品的开发设计能力薄弱，企业、科研院所以及高校之间缺乏相互合作的平台，没有技术攻关和产品创新的攻关机制，从而使我国齿轮传动技术与国外的差距越拉越大，我国的齿轮传动产品的设计制造水平低，许多关键技术还没有掌握，关键产品还依赖进口。因此，2007 年底机械工业联合会经考察、论证、审批，确定由郑州机械研究所筹备建立“机械工业齿轮传动实验室”和“机械工业齿轮传动工程研究中心”，以提高关键共性技术和核心技术的研究和行业创新能力，为产业化规模生产提供成套成熟的先进工艺、技术和装备，不断地推出具有市场竞争力的新产品。

“机械工业齿轮传动实验室”的建设目的是以国家中长期制造业的发展规划纲要为指导，以国家、产业、市场需求为主导，贴近国家需求、贴近产业发展、贴近企业难点，以技术创新、产品创新和集成创新为职责，建立装备制造业的科技创新的技术支撑环境。实验室的工作重点是针对我国装备制造业重大工程和齿轮行业共性关键技术、前沿科学问题而开展的应用基础研究，在新齿形、新工艺、新材料及新装备等应用基础研究领域深入开展科学研究，提出新的学术观点，建立新的理论，形成新的技术，提高我国在齿轮传动领域科学研究与应用成果转化的能力，保持一支相对稳定的从事应用基础研究的专业人才队伍，引领行业的持

续创新。

“机械工业齿轮传动工程研究中心”建设的目的是：根据国民经济、社会发展需要和全行业市场需求，将具有重要及长远市场价值的重大科研成果进行完整的工程化和集成化研究开发，消化、吸收和集成创新引进的先进技术，基本完成产业化开发的全部过程，为产业化规模生产提供成套成熟的先进工艺、技术和装备，不断地推出具有市场竞争力的新产品；推动国际合作与交流；培养高水平的工程技术与管理人才；为行业和相关领域的发展提供信息和咨询服务。把工程中心建成国内一流的传动机械与零部件行业的研发、培训、服务和产业化示范基地。

通过“机械工业齿轮传动实验室”和“机械工业齿轮传动工程研究中心”的建设，加快全行业共性基础技术的攻关和应用技术的辐射，有利于齿轮制造业的信息化平台建设及高层次人才培养，提高企业的自主创新能力，加快产品更新和科研成果产业化，打造行业知名品牌企业，扩大我国齿轮传动产品在国际市场上的份额，加快我国成为机械制造强国的进程，对促进我国国民经济建设具有非常重大的作用。

“机械工业齿轮传动实验室”的主要任务是：瞄准国际高技术前沿，开展齿轮传动基础理论与方法研究，共性、基础性技术研究；针对汽车自动变速器、大型风力发电机组增速箱、大型核电用行星齿轮传动装置、高参数齿轮箱、海洋平台用特大模数齿轮齿条传动装置、特殊齿轮传动装置等重要齿轮传动产品，开展关键应用技术研究。

1）开发具有国际竞争力且具有自主知识产权的高端齿轮传动及其装置。

2）攻克行业共性关键设计制造技术难题，加快新技术、新产品的转化速度，推出具有自主知识产权、有国际竞争力的汽车、能源、冶金、军工等行业及国家重大工程急需的齿轮传动成套技术。

3）建设高参数齿轮传动装置、风力发电增速箱、特殊齿轮传动等齿轮产品智能仿真实验室，对齿轮新产品进行综合性能仿真试验和设计数据的采集，促进整个行业的技术发展和进步。

4）建设行业信息网络化平台，制订更新齿轮技术标准、产品标准规范和质量控制体系，提高齿轮行业信息化进程，加强行业技术交流及合作。

5）建设技术培训基地，加速齿轮传动行业高层次技术和管理人才的培养。

该实验室的主要研究方向有：

1）齿轮传动基础理论与应用技术研究。

①高参数、高可靠性、高功率密度齿轮传动设计制造技术。

②特殊工作环境下齿轮传动设计制造技术。

③特殊齿形齿轮及新型齿轮传动设计制造技术。

④复杂共轭曲面创成、检测及精密制造技术。

2）现代设计制造技术研究。

①新型机电液复合精密传动理论与综合控制技术。

②极限尺寸（超大、极小）齿轮传动设计制造技术。

③新材料、新工艺研究。

3）信息和控制技术及其应用研究。

①齿轮产品设计制造的信息化、网络化及集成化技术。

②基于网络环境的协同设计制造技术。

③齿轮传动装置现代故障诊断及在线检测技术。

“机械工业齿轮传动工程研究中心”的主要任务是通过建设高水平的创新与产业化基地，形成高水平的创新与产业化团队，促进科研成果转化为具有自主知识产权的成套技术和工艺，缩短技术转移和推广应用的周期，推动传统产业的技术进步和结构调整，加快高技术产业的发展。该工程中心要聚集行业内一流的人才，要拥有行业内一流的试验测试设备和仪器，要承担行业的重大研发课题，并以增强产业核心竞争力为目标，以重大科研成果的工程化、产业化为己任，为我国尽快提高齿轮传动产品在国际市场的竞争力，尽早实现由齿轮“制造大国”走向“制造强国”作出应有的贡献。

机械工业齿轮传动工程研究中心在百万千瓦级核电行星齿轮箱、高速及重载机车驱动单元等新产品研制、中试及规模化生产技术方面取得了明显成效。表 H-3 ～表 H-7 所列为机械工业齿轮传动实验室和机械工业齿轮传动工程研究中心的主要仪器、设备及近年来取得的主要成果。

表 H-3　工程实验室部分设备仪器

序号	名称	型号	主要用途	产地
1	克林贝尔渐开线检查仪	PFSU1200	齿轮检测	德国
2	单面啮合综合检查仪	PSKE-900	齿轮检测	德国
3	克林贝尔滚刀检查仪	PWF-300	齿轮检测	德国
4	蔡司渐开线检查仪	VG-450	齿轮检测	德国

（续）

序号	名称	型号	主要用途	产地
5	齿轮箱综合性能试验台	TY200	试验检测	中国
6	可变中心距齿轮试验台	K200	试验检测	中国
7	高速齿轮封闭试验台	GCS250	试验检测	中国
8	蜗轮试验台	WN300	试验检测	中国
9	齿轮疲劳试验机	CL-100	疲劳试验	中国
10	蜗轮油品评定试验机	WL-100	油品评定	中国
11	直读式铁谱仪	TPD-1	分析	中国
12	油液污染分析仪	DCA	分析	美国
13	精密积分式声级计	NL-11	检测	日本
14	B. K 振动计	2511	检测	丹麦
15	惯性回转不均匀性检测仪	GD-18	检测	美国
16	万能工具铣床	X8126B 型	检测	中国
17	数控车床	CKA6150/1000	齿轮加工	中国
18	线切割机	DK7750	齿轮加工	中国
19	数控车床	CAK6150D/890	齿轮加工	中国
20	转速转矩传感器	JZ200	齿轮检测	中国
21	转速转矩传感器	JZ1000	齿轮检测	中国
22	转速转矩传感器	JZ500	齿轮检测	中国
23	转速转矩传感器	JZ2000	齿轮检测	中国
24	转速转矩传感器	TQ-660	齿轮检测	中国
25	转速转矩传感器	JZ20000	齿轮检测	中国
26	转速转矩传感器	JZ30000	齿轮检测	中国
27	转速转矩传感器静校台	JZJ200	齿轮检测	中国
28	硬度计	HLA-11A	齿轮检测	中国

（续）

序号	名称	型号	主要用途	产地
29	数显洛氏硬度计	HRS-150	齿轮检测	中国
30	数显维氏硬度计	200HVS-S	齿轮检测	中国
31	三相无触点交流稳压器	ZBW-SLOOK	齿轮检测	中国
32	数控分度转台	TK56400	齿轮加工	中国
33	三坐标检测仪	LM402520/CP-8	齿轮加工	中国
34	双出轴磁粉制动器	CZ-500	齿轮检测	中国
35	便携式振动标定仪	GJX-3	齿轮检测	中国
36	原子吸收分光光度计	TAS-990SUPER	齿轮检测	中国
37	微机控制电液伺服万能试验机	SHT4606	齿轮检测	中国
38	增速器	GS250	齿轮检测	中国
39	测振仪	BK2525	齿轮检测	中国
40	金相显微镜图像分析系统		齿轮检测	中国
41	200kW 试验台测控系统		齿轮检测	中国

表 H-4　工程研究中心部分大型加工设备

序号	名称	型号	加工范围	产地
1	数控精密成形磨齿机	P2500G	Φ2 500mm	德国
2		P2000G	Φ2 000mm	德国
3		P1200G	Φ1 200mm	德国
4	滚齿机	P1250G	Φ1 200mm	德国
5		P1251	Φ1 200mm	德国
6	插齿机	SH-75K	Φ1 200mm	瑞士
7		Y50D	Φ1 200mm	中国

（续）

序号	名称	型号	加工范围	产地
8	加工中心	TK6916	3 000mm×8 000mm	中国
9		VL-1600ATC	ϕ2 000mm	中国台湾
10		VMC1060	600mm×1 000mm	中国
11	数控卧式车床	CAK80125D	ϕ800mm×3 000mm	中国
12	三坐标测量仪	LM402520	4 000mm×2 500mm×2 000mm	中国
13	渗碳炉		ϕ2 200mm×3 400mm	中国
14			ϕ2 000mm×2 500mm	中国
15			ϕ1 200mm×750mm	中国
16			ϕ1 100mm×950mm	中国
17	辉光离子渗氮炉		ϕ1 200mm×3 000mm	中国
18			ϕ900 mm×3 200mm	中国
19	真空炉		600 mm×900 mm×450 mm	中国

表 H-5　近年来工程实验室获得的部分授权专利

序号	专利名称	专利号	专利类型	授权日期
1	可调相位齿轮箱	ZL200920089534.0	实用新型	2010.01.06
2	清洗机（齿轮热处理）	ZL200920089256.9	实用新型	2010.01.06
3	变动中心距齿轮传动的随动座装置	ZL200920091404.0	实用新型	2010.05.26
4	内斜齿轮或螺旋渐开线内花键塑性精密成形装置	ZL200920257870.1	实用新型	2010.07.14
5	火箭发射活动平台支撑臂减速器	ZL200920224052.1	实用新型	2010.07.21

（续）

序号	专利名称	专利号	专利类型	授权日期
6	火箭发射活动平台小体积大转矩减速器	ZL200920224072.9	实用新型	2010.07.28
7	新型自升式海洋钻井平台装置	ZL200920296929.8	实用新型	2010.08.11
8	流速测定装置	ZL201020108762.0	实用新型	2010.11.03
9	一种斜齿圆柱齿轮冷精密成形工艺及其装置	ZL200910065336.5	发明专利	2010.12.29
10	单臂行星架组件	ZL201020296103.4	实用新型	2011.02.09
11	火箭发射活动平台支撑臂减速器	ZL200910172401.4	发明专利	2011.04.13
12	一种塑性成形上下模具快速对模装置	ZL201120016073.1	实用新型	2011.08.03
13	双余度精密齿轮传动装置	ZL201120069178.3	实用新型	2011.08.10
14	内斜齿轮或螺旋渐开线内花键塑性精密成形工艺及装置	ZL200910066368.7	发明专利	2011.10.05
15	适用于热处理油烟净化机的电离极	ZL201120118699.3	实用新型	2011.11.09
16	一类截齿体的一次成形装置	ZL201120110828.4	实用新型	2011.11.23
17	熔体泵	ZL201120176834.X	实用新型	2011.12.07
18	熔体齿轮泵	ZL201120176820.8	实用新型	2011.12.14
19	用于测试联轴器的试验台	ZL201120292027.4	实用新型	2012.03.07
20	感应真空退火装置	ZL201120315949.2	实用新型	2012.04.18
21	移动式恒载荷齿轮齿条综合性能试验台	ZL201120375610.1	实用新型	2012.05.02

（续）

序号	专利名称	专利号	专利类型	授权日期
22	适用于热处理高压静电油烟净化机的快速接头	ZL201120466137.8	实用新型	2012.07.11
23	适用于热处理油烟净化设备的消防灭火装置	ZL201120466140.X	实用新型	2012.07.11
24	一种塑性成形上下模具快速对模装置	ZL201110021258.6	发明专利	2012.08.01

表 H-6　近年来工程实验室承担的部分科研项目

序号	项目名称	项目来源	起止时间
1	齿轮精度系列标准制修订	国家质检总局	2008.01—2008.12
2	核电水泥蜗壳循环水泵立式行星齿轮箱研制	机械总院基金	2008.01—2009.12
3	斜齿轮和锥齿轮冷精密塑性成形技术装备及其绿色润滑技术研究	国家科技支撑计划	2006.11—2009.12
4	特大模数齿轮齿条设计制造关键技术研究	国家科技支撑计划	2006.12—2009.12
5	大型核电站齿轮传动装置研发	郑州市产学研结合	2007.10—2009.12
6	兆瓦以上风电机组增速齿轮箱研发及产业化	河南省自主创新项目	2008.07—2010.12
7	齿轮磨齿烧伤防止技术研究	机械总院基金	2008.07—2009.12
8	新型旋转机械振动监测分析与平衡系统研制	机械总院基金	2008.05—2009.12
9	大型升船机关键零部件的可靠性与寿命研究	“863”计划	2007.10—2010.03
10	百万千瓦级核电站循环泵齿轮箱研发	科研院所专项资金	2008.01—2010.12
11	齿轮传动数据资源整合共享	国家科技基础条件平台建设	2008.01—2008.12
12	兆瓦级风电齿轮箱的开发与研制	宁波市科学技术局	2008.07—2011.06
13	百万千瓦级核电传动装置研发	郑州市重大科技攻关	2008.01—2009.12

（续）

序号	项目名称	项目来源	起止时间
14	大型风电齿轮箱成套技术研究及系列产品开发	郑州高新区产学研	2008.07—2009.12
15	大型盘状渗碳淬火齿轮畸变控制技术研究	机械总院基金	2008.01—2009.12
16	顶部驱动石油钻井装备中的机械装置研发	机械总院基金	2008.07—2010.12
17	超临界／超超临界火电机组齿轮传动装置研发	科技部专项资金	2009.01—2011.12
18	兆瓦级以上大型风电齿轮箱关键技术研发及产业化	郑州市重大科技专项	2009.01—2011.12
19	低温顶驱机械部分及其关键部件的研制	机械总院定向基金	2009.08—2010.08
20	核电上充泵传动装置研制	机械总院定向基金	2009.08—2010.12
21	轧机压下齿轮蜗轮联合齿轮箱研制	机械总院定向基金	2009.03—2011.12
22	同轴 BPRT 系统关键部件——变速离合器研制	机械总院定向基金	2009.07—2010.12
23	扭杆驱动型转动惯量测量台	机械总院定向基金	2009.06—2010.05
24	兆瓦级以上风电齿轮箱研发及产业化	郑州市科技局	2009.07—2011.12
25	齿轮及齿轮传动标准体系研究	国家标准委	2009.09—2010.10
26	新型铸造用起重减速器系列产品研制	机械总院基金项目	2009.07—2011.12
27	9 600kW 大功率机车驱动单元的研发	机械总院基金项目	2009.07—2011.06
28	复杂齿形零件多向数字控制精确成形技术研究	机械总院基金项目	2009.06—2010.12
29	齿轮及齿轮传动标准体系研究	国家标准委	2009.09—2010.10
30	机械振动、冲击与状态监测标准体系研究	国家标准委	2009.11—2010.10

（续）

序号	项目名称	项目来源	起止时间
31	三峡升船机齿条感应淬火工艺应力及强度研究	中国长江三峡集团公司	2010.03—2011.01
32	真空高温低压渗碳工艺研究	高档数控机床与基础制造装备科技重大专项	2009.03—2011.12
33	热处理车间空气净化装置及系统的开发	机械总院定向基金	2010.04—2011.12
34	超临界／超超临界火电机组齿轮调速装置研发	机械总院定向基金	2010.07—2012.06
35	采煤机截齿精密成形工艺研究	机械总院定向基金	2010.05—2011.12
36	自升式钻井平台升降系统研制	机械总院重点项目	2010.01—2012.12
37	热处理—淬火槽介质流速场的模拟及新型集渣装置的研究	机械总院定向基金	2011.03—2012.12
38	大型机电液齿轮调速装置关键技术研发	郑州市产学研结合项目	2011.10—2013.10
39	城轨列车车辆驱动单元的研发	机械总院定向基金	2011.07—2013.06
40	高速机车齿轮传动装置技术研发及产业化	郑州市重大科技攻关	2011.04—2013.03
41	300ft SEU 升降齿轮箱研发	机械总院定向基金	2011.01—2011.12
42	TRT 机组全自动盘车装置研发	机械总院定向基金	2011.04—2012.12
43	10t 精密转顶研究开发	机械总院定向基金	2011.04—2012.12
44	碎煤加压气化炉开式齿轮副国产化关键技术的研究	机械总院定向基金	2011.06—2013.06
45	大型火箭发射活动平台传动装置	机械总院定向基金	2012.01—2013.12
46	三峡升船机铸造齿条大型试验装备开发及质量评定	高档数控机床与基础制造装备科技重大专项	2012.01—2014.12
47	高速机车驱动齿轮箱研发及其产业化	国家重大科技成果转化项目	2012.04—2014.09
48	行星齿轮传动抗疲劳制造关键技术研究	郑州市重点科技攻关	2012.01—2013.12

表 H-7　近年来工程实验室制订及修订的部分标准

序号	标准编号	标准名称	时间	发布单位
1	GB/Z 18620.1—2008	圆柱齿轮 检验实施规范 第 1 部分：轮齿同侧齿面的检验	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
2	GB/Z 18620.2—2008	圆柱齿轮 检验实施规范 第 2 部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
3	GB/Z 18620.3—2008	圆柱齿轮 检验实施规范 第 3 部分：齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
4	GB/Z 18620.4—2008	圆柱齿轮 检验实施规范 第 4 部分：表面结构和轮齿接触斑点的检验	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
5	GB/T 13924—2008	渐开线圆柱齿轮精度 检验细则	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
6	GB/T 10853—2008	机构与机器科学词汇	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
7	GB/Z 22559.1—2008	齿轮 热功率 第 1 部分：油池温度在 95℃时齿轮装置的热平衡计算	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
8	GB/Z 22559.2—2008	齿轮 热功率 第 2 部分：热承载能力计算	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
9	GB/T 1357—2008	通用机械和重型机械用圆柱齿轮 模数	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
10	GB/T 3480.5—2008	直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和质量	2008 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
11	GB/T 3374.1—2010	齿轮术语和定义 第 1 部分：几何学定义	2010 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
12	GB/T 3374.2—2011	齿轮 术语和定义 第 2 部分：蜗轮蜗杆几何学定义	2011 年	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
13	GB/T 13672—××××	齿轮胶合承载能力试验方法	2010 年	国家技术监督局
14	GB/T 14229—××××	齿轮接触疲劳强度试验方法	2010 年	国家技术监督局

（续）

序号	标准编号	标准名称	时间	发布单位
15	GB/T 14230—××××	齿轮弯曲疲劳强度试验方法	2010 年	国家技术监督局
16	GB/T 14231—××××	齿轮装置效率测定方法	2010 年	国家技术监督局
17	GB/T 10096—××××	齿条精度	2010 年	国家标准化管理委员会
18	GB/T 3480—××××	渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法	2010 年	国家技术监督局
19	GB/T 12760—××××	圆柱蜗杆、蜗轮图样上应注明的尺寸数据	2011 年	国家技术监督局
20	GB/T 10089—××××	圆柱蜗杆、蜗轮精度	2011 年	国家标准化管理委员会
21	GB/T 10088—××××	圆柱蜗杆模数和直径	2011 年	国家技术监督局
22	GB/T 10087—××××	圆柱蜗杆基本齿廓	2011 年	国家技术监督局
23	GB/T 10086—××××	圆柱蜗杆、蜗轮术语及代号	2011 年	国家标准化技术委员会
24	GB/T 10085—××××	圆柱蜗杆传动基本参数	2011 年	国家标准化技术委员会
25	JB/T 7929—××××	齿轮传动装置清洁度	2012 年	国家标准化技术委员会
26	JB/T 5076—××××	齿轮装置噪声评价	2012 年	国家标准化技术委员会
27	JB/T 5077—××××	通用齿轮装置形式试验方法	2012 年	国家标准化技术委员会
28	JB/T ××××—××××	风力发电机组变桨齿轮箱	2012 年	国家标准化技术委员会
29	JB/T ××××—××××	风力发电机组偏航齿轮箱	2012 年	国家标准化技术委员会

注：1. 第 13 ～ 27 项为修订前的标准号，目前正处于审批过程中，故年份用 ×××× 表示。

2. 第 28 和 29 项为新标准，目前正处于审批过程中，故年份和标准号都用 ×××× 表示。

参 考 文 献

[1] 齿轮手册编委会．齿轮手册：上册 [M].2 版．北京：机械工业出版社，2004.

[2] 吴晓铃．润滑设计手册 [M]. 北京：化学工业出版社，2006.

[3] 宗明华．企业技术风险及其分析 [J]. 昆明理工大学学报，2001(26):118—122.

[4] 徐新平．中小企业如何应对市场风险 [J]. 当代经济，2011(2):16—17.

[5] 路甬祥，白春礼，施尔畏，等．中国至 2050 年先进制造科技发展路线图 [M]. 北京：科学出版社，2009.

[6] 秦大同．机械传动科学技术的发展历史与研究进展 [J]. 机械工程学报，2003:37—43.

[7] 石照耀，费业泰，谢华锟．齿轮测量技术 100 年——回顾与展望 [J]. 中国工程科学，2003:14—17.

[8] 石照耀，张万年，林家春．小模数齿轮测量：现状与趋势 [J]. 北京工业大学学报，2008:113—119.

[9] 王长路，张萌．齿轮行业发展综述 [M]// 中国机械通用零部件工业年鉴，2006:343—347.

[10] 王长路，路明．我国微机械技术发展概述 [C]//2007 年先进制造与数据共享国际研讨会论文集．北京：中国机械工业联合会，2007.

[11] 刘忠明，王长路．风力发电齿轮箱设计制造技术的发展与展望 [J]. 机械传动，2006:1—6.

[12] 吴晓铃．齿轮传动的发展及市场前景 [J]. 现代制造，2003:62—63.

[13] 李盛其，潘温岳，石照耀，等．中国齿轮行业“十二五”发展规划纲要 [M]// 中国齿轮工业年鉴，2010:9—16.

[14] 常曙光．我国齿轮行业新材料新工艺的创新 [J]. 金属加工，2010：9—11.

[15] 胡占其，崔云起，李玉昆，等．大型内齿轮加工的技术现状与发展趋势 [J]. 工具技术，2009:17—21.

[16] 彭俊，周述积，楼芬丽．汽车渗碳齿轮用钢及热处理工艺的现状和发展趋势 [J]. 热处理技术与装备，2007:3—6.

[17] 顾海港，林勇刚．大功率船用齿轮箱的开发设计 [J]. 传动技术，2008：25—29.

[18] 王建军，李其汉，李润方．齿轮系统非线性振动研究进展 [J]. 传动技术，2005:37—51.

[19] 王述彦，马鹏飞．入世后我国工程机械行业的机遇和挑战 [J]. 建设机械技术与管理，2002:5—7.

[20] 李亨昭，朱建军，罗群 .21 世纪先进制造技术的发展趋势与战略对策[C]//2005 年机械电子学学术会议论文集 .2005.

[21] 陈群 . 美国的齿轮行业 [J]. 船艇 ,1993(04):12—17.

[22] 蒋孝煜 . 德国的齿轮研究 [J]. 国际学术动态 ,2001(03):49—50.

[23] 彭文生 . 从调查研究分科会看日本之齿轮研究 [J]. 机械传动 ,1984(06):36—38.

[24] 郑州机械研究所 . 国外齿轮产品技术发展概况 [J]. 机械科学与技术 ,1996 (06) :43—44.

[25] Gear Industry Vision—A vision of the gear industry in 2025[G]. AGMA,2004.

[26] 王声堂，杨歧华，蒋荣孝 . 21 世纪齿轮行业发展趋势与战略 [J]. 机电产品市场，2001(08):6—9.

[27] 柏永新 . 齿轮检验方面的发展 [J]. 工具技术 ,1980:41—44.

[28] 田俐 . 新能源产业前景可观 [N]. 中国物资报 ,2000.

[29] 刘荣进 . 重庆齿轮箱责任有限公司研制开发出风力发电齿轮箱 [N]. 中国建材报 ,2000.

[30] 徐忠义 . 齿轮行业改革初探 [J]. 中国机械工程 ,1984:18—20.

[31] 陈长年 . “十二五”汽车制造装备市场分析 [J]. 现代零部件 ,2009:65—69.

[32] 任运涛，张宁英 . 齿轮行业质量管理信息化解决方案 [J]. 现代制造 ,2004:47—48.

[33] 王声堂 . 齿轮如何走好强国之路 [N]. 中国电力报 ,2004.

[34] 王声堂 . 中国齿轮和国际距离“越转越近”[N]. 中国电力报 ,2004.

[35] 王声堂 . 齿轮业须加快缩短与国外差距 [N]. 中国工业报 ,2004.

[36] 刘建华 . 中国应成为齿轮制造强国和出口大国 [N]. 中国汽车报 ,2004.

[37] 夏德江 . 汽齿行业进入快速发展期 [N]. 中国工业报 ,2004.

[38] 王声堂 . 21 世纪齿轮行业发展战略的建议 [J]. 机电产品市场 ,1999:46—49.

[39] 冯淑娟 . 齿轮行业改革如何面对现实问题 [N]. 中国汽车报 ,2001.

[40] 徐劲华 . 抓品牌建设促企业发展 [J]. 机械工业质量管理 ,2011(2):44—46.

[41] 于永初，张蒨 . 自主创新、产业升级——“中国机械通用零部件工业协会齿轮分会 2010 年年会”胜利召开 [J]. 现代零部件，2011(1):34—39

[42] 王声堂 . 齿轮行业形势与产业升级 [R]. 中国机械通用零部件工业协会齿轮分会 2008 年年会 .

[43] 中国机械工程学会 . 中国机械工程技术路线图 [M]. 北京 : 中国科学技术出版社 ,2011.

[44] 中国机械通用零部件工业协会齿轮分会 .2010 中国齿轮工业年鉴 [M]，北京 :

北京理工大学出版社，2010.

[45] 国务院．关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定（国发〔2010〕32号）.2010.10.10.

[46] 国务院．关于加快振兴装备制造业的若干意见（国发〔2006〕8号）.2006.02.13.

[47] 国务院．装备制造业调整和振兴规划 .2009.05.12.

[48] 工业和信息化部．机械基础零部件产业振兴实施方案 .2010.10.11.

[49] 中国机械通用零部件工业协会齿轮分会．中国齿轮行业“十二五”发展规划纲要（2011～2015）．2010.6.30.

[50] 中投顾问产业研究中心．2012~2016年中国齿轮行业投资分析及前景预测报告[R]. 中投顾问，2011.

[51] 工业和信息化部．机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划．2011.11.24.

[52] 工业和信息化部．通用零部件行业“十二五”发展规划．2011.08.09.

[53] 商务部，等．关于促进战略性新兴产业国际化发展的指导意见（商产发〔2011〕310号）.2011.09.08.

[54] 工业和信息化部．高端装备制造业“十二五”发展规划(工信部联规[2012]145号）．2012.03.29.

[55] 国务院．关于印发“十二五”国家战略性新兴产业发展规划的通知（国发〔2012〕28号）.2012.07.09.

[56] 刘忠明，王长路，张元国，等．中国齿轮工业的现状、挑战与2030年愿景[J]. 机械传动，2011(12):1—6.

[57] 中国机械通用零部件工业协会齿轮分会李大开会长在2010年年会上的讲话[J]. 汽车零部件，2011(A01):43—47.

[58] 告别高增长齿轮行业进入稳健发展阶段．[N]. 中国工业报，2012—03—31.

[59] 齿轮行业持续向好十大产业提供发展机遇[EB/OL].2011—09—29. http://www.cm.hc360.com.

[60] 中国可再生能源学会风能专业委员会 .2011年中国风电装机容量统计[J]. 风能，2012(03):40—48.

[61] 中国机械工程学会．中国机械工程技术路线图[M]. 北京：中国科学技术出版社，2011.

[62] 李盛其．齿轮行业十二五发展规划纲要[J]. 现代零部件，2011(1):

59—61,2011(2):30—32.

[63] 我国齿轮行业发展研究综述 [EB/OL].2011—05—07.http://hi.baidu.com.

[64] 我国齿轮传动制造业实现跨越式发展 [EB/OL].2012—06—15.http://www.chuandong.com.

[65] 未来 10 年齿轮传动产品市场需求将翻番 [EB/OL].2007—11—27.http://www.0595stw.com.

[66] 我国汽车齿轮行业发展趋势深度分析 [EB/OL].2012—02—13.http://www.cdjx.org.

[67] 我国汽车齿轮行业发展分析 [EB/OL].2011—07—23.http://www.find800.cn.

[68] 陈天生 . 工程机械齿轮传动装置及我国行业现状 [J]. 建筑机械 , 2011(3):71—74,81.

[69] 王晶晶 , 等 . 风电齿轮箱的发展及技术分析 [J]. 机械传动 ,2008(06):.5—8.

[70] 孟令先 , 等 . 河南省风力发电业现状 [J]. 装备制造技术 ,2009(11): 50—52.

[71] 风电齿轮市场前景看好 [EB/OL].2011—10—29. http://news.byf.com.

[72] 孟令先 , 等 . 我国核电循环泵齿轮箱的发展概况 [J]. 装备制造技术 ,2011(1): 100—102.

[73]“十二五”核电规划 [EB/OL].2012—06—20. http://wenku.baidu.com.

[74] 中国太阳能光伏产业现状及发展趋势 [EB/OL].2010—07—23. http://www.esmchina.com.

[75] 中国光伏发电产业存在的问题 [EB/OL].2010—11—12. http://www.022s.com.

[76] 生物质能源“十二五”规划 [EB/OL].2012—06—19. http://www.china—bioenergy.cn.

[77] 船舶工业“十二五”发展规划 [EB/OL].2012—03—12. http://www.china.com.cn.

[78] 常山 . 船舶大功率齿轮传动装置的技术发展现状与展望 [J]. 舰船科学技术 ,2010(7):17—22, 45.

[79] 王世安 , 等 . 船用齿轮设计技术的发展趋势 [J]. 热能动力工程 , 2003(5):547—549.

[80] 利好政策促进我国海工装备产业春意盎然 [EB/OL].2012—7—25.http://www.askci.com.

[81] 交通运输“十二五”发展规划 [EB/OL]2012—07—24. http://wenku.baidu.com.

[82] 铁路装备制造业迎来快速发展期 [EB/OL].2012—07—25.http://news.xinhuanet.com.

[83] 刑志伟 , 等 . 电动机车牵引齿轮设计概述 [J] 机械传动 ,2011(11):41—43.

[84] 节能减排，冶金装备制造业面临新机遇 [EB/OL].2012—07—26.http://www.machine.hc360.com.

[85] 中国突破制约大飞机研制核心关键技术 [EB/OL].2012—07—30.http://ms.1545ts.com.

[86] 浅析仪器仪表行业快速发展原因 [EB/OL].2012—07—31.http://www.machine.hc360.com.

[87] 黄兴，林原.新世纪密封技术面临的问题及其发展趋势[J].润滑与密封,2002(01):76—78.

[88] 王敬，邵朋礼，魏来生，等．车辆传动系统热平衡计算与仿真研究 [J]. 工程设计学报，2003，6(10):315—320.

[89] 刘堂礼．超临界和超超临界技术及其发展 [J]. 广东电力 ,2007,20(1):19—20.

[90] 超超临界火电机组 [J/OL].2008—03—05.http://www.chinaequip.gov.cn.

[91] 刑志伟．超临界／超超临界火电机组齿轮传动系统稳态热分析 [D]. 郑州：郑州机械研究所，2011.

[92] 李纪强．非圆齿轮传动啮合特性分析及承载能力研究 [D]. 郑州：郑州机械研究所，2010.

[93] 孙闻．安徽装备制造业技术创新能力 [D]. 合肥：合肥工业大学，2006.

[94] 张菁．东航品牌建设研究 [D]. 上海：复旦大学，2010.

[95] 陈薇亦．机械工业到了转型升级关口 [N]. 江苏经济报，2011—8—29.

[96] 保障能源供给促进经济发展推进结构调整和产业升级．李克强全国能源工作座谈会讲话 ,2009.

[97] 陈国金，胡小平，董峰．面向产业升级的机械专业培养计划及实现途径 [J]. 杭州电子科技大学学报，2011(4):65—68.

[98] 郑乃金，王玮楠．我国汽车零部件工业发展措施研究 [J]. 汽车论坛，2002(5):1—4.

[99] 李明．中国汽车零部件企业自主品牌建设研究 [D]. 吉林大学，2007.

《中国战略性新兴产业研究与发展》一期书目

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 风能》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 生物质能》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 太阳能》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 新能源汽车》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 工程机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 农业机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 数控机床》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 轨道交通》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 轴承》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 齿轮》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 智能电网》

《中国战略性新兴产业研究与发展 · 水电设备》

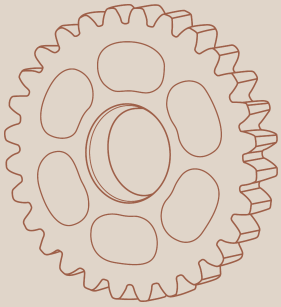
总 策 划　王文斌

封面设计　敬人书籍设计工作室
吕敬人＋德浩

易览网
mepfair.com
中国机电产品网上展览馆

中国战略性新兴产业研究与发展

齿 轮



地址：北京百万庄大街22号 邮编：100037
电话 社服务中心：（010）88361066 销售一部：（010）68326294 销售二部：（010）88379649 读者热线：（010）68326643
网络 易览网：http://www.mepfair.com 机工官网：http://www.cmpbook.com 机工官博：http://weibo.com/cmp1952

ISBN 978-7-111-41497-1
ISBN 978-7-111-41497-1
定 价：158.00元